www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

JAARGANG 27, 1965/66, no. 2

Ontsluiten van het ontoegankelijke

N. F. Verster

53:62

Onderstaand artikel is, op de inleiding na, een vrijwel letterlijke weergave van de rede, uitgesproken op 21 mei 1965 door prof. dr. N. F. Verster bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Eindhoven. Zoals wel meer geschiedt in toespraken die voor vakgenoten worden gehouden maar ook aan niet ter zake kundige toehoorders iets moeten bieden, bedient de spreker zich van een ver uitgesponnen metafoor. Het schijnbaar alledaagse gebeuren dat hij afschildert en waarin eenieder hem kan volgen, bergt de diepere zin, die alleen de ter zake kundige in zich kan opnemen — wat hij zal doen met de satisfactie die het bezigen van een geheimtaal verschaft aan de kring der ingewijden.

Sinds ruim 30 jaar bestaat er aan de Technische Hogeschool te Delft een afdeling „Technische Natuurkunde", waarin de studenten worden opgeleid tot „natuurkundige ingenieurs". Deze studierichting is ook aan de Technische Hogeschool Eindhoven vertegenwoordigd.

Er bestaat geen reden, aan het belang van deze studierichting te twijfelen; de belangrijke posities die afgestudeerden van deze richting tot dusver hebben weten te verwerven — ook andere dan die van docent in de technische natuurkunde — tonen dit aan. Toch kan er enige onzekerheid bestaan omtrent de feitelijke inhoud van het begrip „technische natuurkunde". Is dit een wetenschap op zichzelf, en zo ja, in hoeverre is deze wetenschap anders dan de natuurkunde in haar algemeenheid? De vraag zal vooral gaan leven voor iemand die geroepen wordt tot het onderwijs in de technische natuurkunde, na zelf aan de universiteit tot de beoefening der natuurkunde gevormd te zijn. De begrippen „experimentele natuurkunde" en „theoretische natuurkunde" — al brengen zij een scheiding tot uitdrukking die tegenwoordig in vele gevallen dwars door de persoon heen schijnt te lopen — zijn duidelijker en de aspecten van de natuurkunde in haar algemeenheid die zij willen aanduiden zijn gemakkelijker te onderkennen dan ik van het begrip „technische natuurkunde" zou durven beweren.

Ik wil hier trachten op indirecte wijze de plaats en het karakter van de technische natuurkunde duidelijk te maken. Daartoe is het zinvol de gehele beoefening der natuurwetenschappen in beschouwing te nemen, wat ik wil doen door deze te vergelijken met het ontdekken, in kaart brengen en tot ontwikkeling voeren van een nieuwe wereld.

Het landschap is rijk aan afwisseling; wat het meest opvalt is het oerwoud dat vrijwel het gehele land bedekt. U herkent de experimentele natuurkunde in de activiteiten van hen die zich met een kapmes of met een bulldozer door de jungle een pad banen. Men ondervindt al gauw dat deze vorm van verkennen alléén weinig bevredigend is, voortdurend loopt men vast op de vele moerassen of afgronden waar deze wereld zo rijk aan is. De experimentatoren proberen daarom zo snel mogelijk heuveltjes te vinden, om zo, tussen de bomen door, een stukje van het terrein te overzien. In het kompas en de eenvoudige landmeetinstrumenten die hierbij onmisbaar zijn, herkent U de door de wiskunde ter beschikking gestelde hulpmiddelen.

Soms vindt men echte bergen, die de theoretici dan proberen te beklimmen.

Naarmate zij hoger stijgen, wordt het uitzicht wijder. Vanuit hun verheven standpunten kunnen zij grote gebieden overzien; om deze in kaart te brengen, kunnen en moeten zij veel machtiger verrekijkers en theodolieten gebruiken. In het hanteren hiervan zijn zij ware virtuozen.

De nieuwe wereld blijkt vele natuurlijke rijkdommen te bezitten, zoals delfstoffen en recreatiegebieden, die van groot belang zijn voor de gehele mensheid, of waar-

Prof. dr. N. F. Verster was tot zijn benoeming aan de Technische Hogeschool Eindhoven medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

door de vorsten hopen hun macht en rijkdom te vergroten.

Volstonden vroeger enkelen, zoals Von Guericke, met het mee naar huis nemen van curiosa, thans zijn de resultaten van systematische exploitatie ook niet meer weg te denken uit het dagelijks leven van hen die van de nieuwe wereld slechts de naam kennen. Denkt u slechts aan ons hedendaags kunstlicht, uw ijskast of aan röntgenfoto's.

Een drietal eeuwen geleden was vrijwel het gehele land nog terra incognita. Dit verbaast ons niet: komend uit de wereld van het dagelijks beleven ziet men slechts de zware bossen, die ieder uitzicht beletten en het terrein ontoegankelijk maken.

De oude volken hadden enkele ontdekkingsreizen gemaakt en hier en daar vanaf een heuveltje de omgeving overzien en in kaart gebracht. Daarnaast tekenden zij op grond van filosofische beschouwingen kaarten van de rest van het land die nog eeuwen lang als juist beschouwd werden. Ook de alchemisten waagden zich al vroeg in het onbekende gebied. Een oude legende dat zich ergens in het bos een onuitputtelijke goudmijn zou bevinden, was daarbij de drijfveer, zeker voor hun beschermheren.

Geleidelijk aan begon men ook aan andere kanten in het gebied door te dringen. Men nam geen genoegen meer met de overgeleverde kaarten, de tijd van de grote ontdekkingsreizen brak aan.

Gaandeweg gelukte het de eerste heuvels en bergen te vinden en van daaruit een verrassend groot gebied in kaart te brengen.

In de 17e eeuw kon Newton, vanuit het door Keppler en Galilei opgerichte basiskamp, de later naar hem genoemde belvedère van de mechanicaberg beklimmen. Na hem hebben anderen, zoals Lagrange en Hamilton, observatiepunten op deze berg gevonden waar men veel machtiger kijkers kon opstellen. Tegenwoordig gaat men op de middelbare school, onder zorgvuldige leiding van de natuurkundeleraar, per touringcar en kabelbaan direct naar de Newton-belvedère, om van daaruit de naaste omgeving te leren kennen. De leerlingen moeten daartoe tot vervelens toe met primitieve theodolieten een aantal standaardbakens opmeten. Het is de vraag, of ze een van deze bakens herkennen als ze die in het terrein zelf tegenkomen.

Bijna veertig jaar geleden heeft een expeditie de quantummechanicaberg beklommen. Het is nog steeds een wonder hoe men door peilingen uit geheel onverwachte posities de berg zelf en in snel tempo de weg omhoog gevonden heeft in een gebergte van geheel onbekende en vreemde formatie. Het uitzicht overtrof de stoutste verwachtingen. Niet alleen overzag men bijna het gehele stuk van de toen bekende natuurkunde, maar ook kon men de hoofdbakens van de chemici zien. Na de alchemisten hadden die onderzoekers weliswaar zeer veel terrein geëxploreerd en ontgonnen, volledige triangulatiemetingen waren echter nog niet gelukt. Nu bleek het niet alleen mogelijk dit radicaal in orde te maken, men kon bovendien de driehoeksnetten koppelen en zo tot één groot gemeenschappelijk coördinatensysteem komen voor de chemie zowel als de fysica. Onder de velen die, zwaar beladen met landmeetinstrumenten, thans deze berg beklimmen, treft men minstens evenveel scheikundigen als natuurkundigen aan.

Naarmate de omvang van het verkende gebied toenam, bleek meer en meer dat alle provincies aan elkaar grensden, vaak op geheel onverwachte wijze en in ons landschapsbeeld topologisch niet voorstelbaar. Het lijkt me echter wat te ver gaan de natuurkunde te vergelijken met een landschap in een vier- of meerdimensionale ruimte, hoewel dan ook de onbegrensdheid van de deelgebieden beter tot haar recht zou zijn gekomen.

Het beoefenen van de natuurkunde lijkt in dit opzicht wel eens op het maken van feuilletéegebak. Vele onvoorspelbare contacten blijken te ontstaan tussen punten die ver uiteen lagen toen het nog gewoon een plak deeg was.

Door deze complexe samenhang gebeurt het niet zelden dat een expeditie een top bereikt die ook uitzicht geeft op de bakens van andere expedities, die in moeras vastgelopen zijn of zich moeizaam een weg banen door het oerwoud, vlak naast een drukke autostrada.

De noodzaak van nauwkeurige kartering en het belang van betere observatiepunten klemt steeds meer; daarnaast wordt het contact tussen alle expedities een steeds groter probleem. Meer en meer publikaties verschijnen met routebeschrijvingen, methodes en technieken om hindernissen te nemen, en ook veel foto's genomen vanaf nieuw bestegen bergen. Groot is de vreugde als men op zo een foto zijn eigen bakens herkent.

Omstreeks de eeuwwisseling is het terrein van het elektromagnetisme volop in exploratie gekomen. De aard van het landschap maakte het mogelijk snel te vorderen; waar men ook de spade in de grond stak, trof men nieuwe rijkdommen aan.

Het isolationisme, waartoe de grote omvang en rijkdom van deze provincie vaak aanleiding gaf, is door het snel toenemend grensverkeer met het moederland weer aan het verdwijnen.

Behalve waardevolle grondstoffen trof men in dit gebied ook recreatiegebieden. Nu vloeiden de fondsen pas goed. Brede snelwegen zijn aangelegd om de terreinen van radio en later ook van televisie voor alle verstrooiing-zoekenden toegankelijk te maken. Sinds men, via het terrein van de vastestoffysica, de transistorroute

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

heeft weten aan te leggen, is de stilte op de recreatiegebieden volledig verdreven. De begaanbaarheid van het gebied der elektronentechniek is voor vele expedities thans een onmisbare voorwaarde om gereedschap naar het werkterrein te vervoeren. De ontwikkeling van de elektronentechniek heeft ook tot gevolg gehad dat men de mineralen vond waarmede ongekend sterke kijkers en nauwkeurige landmeetapparaten gemaakt konden worden, de zogenaamde computers.

Dit beïnvloedt de techniek van het karteren in toenemende mate. Was het vroeger zo dat men het landschap wel kon overzien van de verschillende heuvel- en bergtoppen, maar dat door de nevel van de wiskundige beslommeringen de details vaak onzichtbaar bleven, nu leert men steeds meer met de nieuwe kijkers door deze nevel heen te fotograferen. Aangezien echter met de toegenomen vergroting het gezichtsveld evenredig verkleind is, eist het gebruik wel een behoorlijke vooraf-gaande bestudering met de oude methodes, om dan met een computer enige zorgvuldig gerichte foto's te maken. Door deze methodiek kan men zich, indien er al uitzichtpunten bekend zijn en de plaatselijke situatie niet al te ongelukkig is, veel van de tijd besparen die vroeger nodig was voor een moeizame verkenning in het terrein zelf.

Het hoeft ons niet te verbazen dat met het steeds groter en machtiger worden van de computers het gebruik ervan een aparte techniek wordt. Het geheel gelijkt wel iets op de bouw van de Babylonische toren, zoals in Genesis vermeld:

> „Nu zal niets van wat zij denken te doen voor hen onuitvoerbaar zijn. Welaan, laat Ons nederdalen en daar hun taal verwarren, zodat zij elkanders taal niet verstaan".

Men is ondertussen verder in het onbekende land doorgedrongen, eerst in het gebied van de kernfysica en nu ook in het gebied van de elementaire deeltjes. Vooral dit laatste is vanuit de thans bekende bergtoppen vrijwel onzichtbaar. De eerste verkenningen zijn gedaan door ontdekkingsreizigers die via de smalle paadjes van de natuurlijke radioactiviteit en de kosmische stralen deze gebieden bereikten. Het werd al gauw duidelijk dat voor een behoorlijk doorvorsen betere toegangswegen nodig waren.

Het te doorkruisen land ligt geheel binnen het gezichtsveld van sinds lang bekende bergen, de aard van het terrein en de grote afstand maken het echter ook duidelijk dat de aanleg van deze wegen, zeker tot in het gebied van de elementaire deeltjes, een grootscheepse onderneming gaat worden.

De eerste resultaten verkreeg men met behulp van een Cockroft-Walton-generator. Hiermede is het gebied tot 1 à 2 MeV te bereiken. Deze streek is thans vrijwel geheel in kaart gebracht.

De volgende stap was de uitvinding van het cyclotron door Lawrence in 1929 [1]. Vluchtige inspectie van bovenaf geeft duidelijk de te volgen route aan. Deze loopt tussen de afgronden van de faze-afwijking en van de verticale instabiliteit, waar het pad steeds smaller en steiler wordt. Verder dan ca. 20 MeV kan men niet komen. Op grond van deze vluchtige inspectie begon men de wegen aan te leggen. Het gehele terrein bleek veel verraderlijker dan de weinig gedetailleerde kaarten deden vermoeden. Door ervaring leerden enkele groepen zich toch een weg te banen, waarbij ze zich niet gauw uit het veld lieten slaan door hindernissen. Cyclotrons bouwen werd een romantisch avontuur. Een dergelijke toestand, waarbij de kunde een kunst geworden is, dreigt zich te bestendigen. Het is nl. moeilijk door systematische waarnemingen vanuit goede uitzichtpunten gedetailleerde kaarten te maken die het kunnen opnemen tegen de ervaring van de in het vak vergrijsde gidsen. Bovendien zijn de gevolgde routes nooit nauwkeurig in het veld opgemeten, zodat de moerassen en het drijfzand, waarvan de gidsen vertellen, niet te identificeren zijn met de resultaten van een systematische kartering.

In 1938 bekeek Thomas [2], een astronoom, het terrein eens goed vanaf de uitzichtpunten die hem vertrouwd waren. Hij gaf een andere route aan, later het klaverbladcyclotron genaamd, waardoor men het moeilijke gebied tussen de beide eerstgenoemde ravijnen kon vermijden en tot hogere energieën, b.v. 100 MeV, zou kunnen komen. Om het doel werkelijk te bereiken, was het wel noodzakelijk aan de hand van zorgvuldig onderzoek het tracé nauwgezet uit te stippelen en gedurende de uitvoering door goede metingen ervoor te zorgen dat men dit ook aanhield. Ondanks de kennelijke voordelen was er voorlopig niemand die dit aandurfde.

Na de oorlog leerde men, dankzij de door Veksler [3] en McMillan [4] gevonden fazestabiliteit, het synchrocyclotron kennen.

Het gaat hier om een methode waarbij men de afgrond van de fazefout vermijdt; men kan energieën van 600 MeV en meer bereiken, en zo een eind in het gebied van de elementaire deeltjes doordringen. De poolschijven van het grootste cyclotron hebben een diameter van zes meter, de grens van het bereikbare wordt daarom mede gesteld door de afmetingen van de grootste beschikbare draaibank.

De ervaring opgedaan bij de bouw van klassieke cyclotrons kan met vrucht gebruikt worden, bovendien is het terrein veel minder verraderlijk, zodat een be-

[1] E. O. Lawrence en N. F. Edlefsen, Science **72**, 376, 1930.
[2] L. H. Thomas, Phys. Rev. **54**, 580, 1938.
[3] V. I. Veksler, Doklady Akad. Nauk S.S.S.R. **43**, 329, 1944.
[4] E. M. McMillan, Phys. Rev. **68**, 143, 1945.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

trekkelijk simpele theoretische analyse voldoende is. Het synchrotron, ook berustend op het principe van de fazestabiliteit, vormt de volgende stap. Langs deze weg is men tot 10 000 MeV gegaan. De magneet van dit synchrotron bevat 36 000 ton staal, de kosten vormen nu de grootste belemmering om nog verder te gaan.

Circa 15 jaar geleden begon in de werkwijze een kentering in te treden. Het vooraf opstellen van goede detailkaarten van het te doorkruisen land begon ingang te vinden. Hoewel het ter beschikking komen van computers hierbij een niet te verwaarlozen rol gespeeld heeft, bleek een betere analyse met aloude middelen het voornaamste gereedschap, mits men zich de moeite getroostte eerst wat hoger te klimmen.

De betere kaarten stimuleerden nauwkeuriger metingen bij de realisering. Het bereikte succes is zo groot dat de balans nu weleens naar de andere kant lijkt door te slaan. Men stippelt steeds geraffineerder routes uit; nog voordat wegen langs vorige tracés geheel voltooid zijn, krijgen ze al het praedicaat „klassiek". Ik wil U een drietal voorbeelden van deze nieuwe werkwijze noemen.

Als eerste de *extractie* bij synchrocyclotrons.

Voor de klassieke cyclotrons waren methodes ontwikkeld om, zij het met drastische middelen, de versnelde deeltjes uit de versneller te extraheren en naar de experimenteerruimte te leiden. Deze methodes zijn niet toepasbaar bij de veel grotere synchrocyclotrons. In 1951 hebben Tuck en Teng [5] een nieuwe methode gevonden, ten behoeve van het grote synchrocyclotron te Chicago. De te primitieve analyse gaf hun onvoldoende overzicht over het terrein, de realisering mislukte. Nadat de theoreticus Le Couteur [6] in Liverpool vanaf een hoger standpunt een duidelijk inzicht kon geven en zo, de gevaren onderkennend, een veilige route kon uitstippelen, lukte het Crewe en medewerkers [7] zich met succes dit pad te banen.

Le Couteur volstond niet met het vinden van een veilige route volgens het idee van Tuck en Teng; hij bracht een wat ruimer gebied in kaart en kon zo naderhand het principe van een kortere weg aangeven [8]. Het precies vastleggen van het tracé eist het gebruik van een computer omdat een lichte nevel van wat moeilijker vergelijkingen boven het landschap hangt. Na een grondige analyse, in hoofdzaak langs de door Le Couteur aangegeven lijnen, waren enkele detailfoto's met een computer voldoende om deze methode, o.a. bij het synchrocyclotron te Orsay, toe te passen [9]. De gedetailleerde kaarten die zo van het gebied gemaakt waren, werden verrassend juist bevonden.

Verder rondspieden leidde tot de vondst van een nog wat betere manier die naderhand bij het synchrocyclotron te Göttingen eveneens met succes is toegepast [10]. Aangezien synchrocyclotrons vrijwel niet meer worden gebouwd, behoort deze ontwikkeling nu tot de historie.

Als een tweede voorbeeld noem ik U de bouw van de reusachtige *synchrotrons* te Genève en te Brookhaven.

Het „alternating gradient"-principe, uitgevonden door Christophilos [11] en door Courant, Livingston en Snyder [12], maakte het mogelijk de kosten van grote synchrotrons drastisch te verlagen. De bouw van een machine van 30 000 MeV kwam hierdoor binnen de mogelijkheden.

Om drie redenen moest men hier zo gedetailleerd mogelijk het gebied vooraf in kaart brengen. In de eerste plaats stond de omvang van het project geen enkel risico toe. Vervolgens is de alternating gradient-route geen gemakkelijke, een eerste overzicht van het terrein toont al een overvloed van kloven en moerassen. Derhalve moet het tracé met de grootste zorg gekozen worden. Ten slotte maakt de kostbaarheid van het project een vergaande optimalisering nodig. De realisering van deze machines is zoals bekend een groot succes geworden.

Een van de problemen bij de theoretische analyse werd gevormd door de afgrond van de zogenaamde niet-lineaire resonanties. Men kon wel zien dat deze afgrond er was, maar een duidelijk beeld van de omvang was moeilijk te krijgen. Weliswaar was dit vroeger al eens nagegaan, de resultaten waren tussen de overvloed aan publikaties onopgemerkt gebleven. Men ontdekte echter dat Moser [13], een astronoom evenals Thomas, zich recentelijk in Göttingen met een gelijksoortig probleem had bezig gehouden bij een onderzoek naar het ontstaan van de ringen van Saturnus. Deze zelfde niet-lineaire resonanties, nu met de manen van deze planeet, kunnen namelijk de ringstructuur verklaren.

Om dit te kunnen overzien, had hij zijn standpunt gekozen op die top van het mechanicagebergte die vroeger al door Hamilton en anderen gevonden was en reeds in het begin van dit verhaal werd genoemd. Deze top biedt hetzelfde uitzicht als de Newton-belvedère maar laat het gebruik van veel machtiger wiskundige hulpmiddelen toe. Voor de bestudering van de beweging der planeten is dit een voortreffelijke positie. Sinds dit voldoende bekend was, ontmoette men hier doorgaans slechts onderzoekers die zich met fundamentele problemen bezighielden of ouderejaars studenten op excursie onder zorgvuldige leiding van een hoogleraar. Het zal U niet verbazen dat het thans op deze bergtop een komen en gaan is van hen die versnellers aan het ontwerpen zijn. Le Couteurs uitzichtpunt voor de bestudering van de cyclotrondeflectie blijkt zich hier ook vlak bij te bevinden.

Als derde voorbeeld wil ik het *isochrone* of *klaverbladcyclotron* noemen. Dank zij de enorme ontwikke-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ling in het ontwerpen van versnellers kreeg het voorstel van Thomas zo'n tien jaar geleden, ruim vijftien jaar na zijn publikatie, alle aandacht. Het eerste klaverbladcyclotron werd in 1958 gerealiseerd door Heyn [14] in Delft.

De theorie is wat complexer dan die van het alternating gradient-synchrotron, de omvang van het project is vele malen kleiner. Over het algemeen is aan de bouw van deze machines een uiterst zorgvuldige studie voorafgegaan, wederom met toepassing van de door Hamilton e.a. geformuleerde beschrijving van de klassieke mechanica. Hoewel de resultaten van deze theorie vrij abstract lijken, kan men ze bij cyclotrons toevallig een zeer aanschouwelijke interpretatie geven.

Het gebruik van computers is bij het ontwikkelen van deze apparaten vruchtbaar gebleken, in het bijzonder indien men dit combineert met uitvoerige en nauwkeurige metingen van het magneetveld in de machine: aldus gaan nauwkeurige kartering van boven af en nauwkeurige metingen in het veld hand in hand. Van één project is mij bekend dat meer dan 50 000 metingen van het magneetveld verricht zijn. Het is begrijpelijk dat dit meten zoveel mogelijk geautomatiseerd is en dat de verwerking van al deze getallen ook aan de computer is toevertrouwd [15].

In het beeld dat ik U van de natuurkundige bedrijvigheid heb geschetst, herkennen we de fundamentele natuurkunde enerzijds in de activiteit van de ontdekkingsreizigers die in de grote terra incognita doordringen en anderzijds in de voortdurende inspanning om de hoofdtriangulatie te verbeteren en uit te breiden. De ontdekkingsreizigers verkennen niet iedere vierkante meter, ze zoeken zo snel mogelijk nieuwe uitzichten, met het doel zo de weg naar steeds hogere bergen te vinden.

Nu gebeurt het wel dat men in het nieuw ontdekte land natuurlijke rijkdommen heeft gevonden of tenminste de aanwezigheid daarvan vermoedt. Allereerst zal men meer in detail gaan onderzoeken om zo veel mogelijk gegevens over deze bodemschatten te verzamelen. Zijn de resultaten bemoedigend, dan komt het grootste werk, want de weg waarlangs de ontdekkingsreizigers het terrein bereikt hebben, is zelden geschikt voor een serieuze exploitatie. Daartoe heeft men kanalen, spoorlijnen of verharde wegen nodig, die door de complexe samenhang van alle deelgebieden velerlei streken moeten doorkruisen die vroeger wel eens verkend, maar sindsdien door tijdgebrek of door gebrek aan interesse nauwelijks meer betreden zijn. De diepgaande verkenning die nu noodzakelijk is geworden, wil wel eens de omvang en het karakter van fundamenteel onderzoek aannemen.

Voor de exploitatie zal men zoveel mogelijk gebruik maken van verbindingen die vroeger al voor allerlei doeleinden gerealiseerd zijn. Anderzijds is het eer regel dan uitzondering dat de nieuw aangelegde wegen ook elders van veel nut blijken, niet in het minst voor het fundamentele onderzoek.

De exploratie en ontginning van de natuurlijke rijkdommen, het verkennen van het toegangsterrein, het uitzetten van het tracé gevolgd door de aanleg van de noodzakelijke verbindingswegen en alles wat daaraan vast zit, vormt de *technische* natuurkunde. De geheel analoge activiteit ten behoeve van het fundamenteel onderzoek, zoals de zojuist beschreven ontwikkeling van cyclotrons e.d., behoort hier natuurlijk ook toe. De toevoeging „technisch" volgt uit de doelstelling, nl. het dienstbaar maken van de verkregen kennis, en niet uit de gebezigde middelen.

Dat zij die tot deze ondernemingen opgeleid zijn, de titel *ingenieur* voeren, bevreemdt ons niet. Er is een grote gelijkenis met Simon Stevins instructie uit 1600 voor de eerste Nederlandse ingenieursschool [16]. Hij stelt o.a.: „Int meten opt papyer alsoe genoech ervaren wesende ende deur t cleyn verstaende, watter int groot moet gedaen sijn, soe sal men comen totte datelycke landtmetinge int velt, hun wijsende hoe men in plaets van regel, passer ende winckelhaeck op papier, ander gereedtscap opt velt gebruyct, streckende nochtans tot dergelijcken eynde". „Daer nae sullen se leeren opt papyer teeckenen de omtreck der landen die se also gemeten hebben, ende wederom verkeert een plat op papyer gegeven sijnde, tselve met aenwijsende baecken opt velt te teeckenen."
Niet alleen het landmeten, d.w.z. de theorie hoort tot de opleiding, ook het praktisch werken: „Dus verre gecomen sijnde sullen mogen in de somer trecken nae tleger of ter plaetsen daer stercten gebouwt werden, ende syen daer die saecke selfs, jae helpen die metter daet bevorderen".

---

[5] J. L. Tuck en L. C. Teng, Phys. Rev. **81**, 305, 1951.
[6] K. J. Le Couteur, Proc. Phys. Soc., London **B 64**, 1073, 1951.
[7] A. V. Crewe en K. J. Le Couteur, Rev. sci. Instr. **26**, 725, 1955.
[8] K. J. Le Couteur en S. Lipton, Phil. Mag. **46**, 1265, 1955.
[9] G. T. de Kruiff en N. F. Verster, Het 160-MeV-synchrocyclotron met bundelextractie te Orsay, Philips techn. T. **23**, 397-418, 1961.
[10] G. T. de Kruiff en N. F. Verster, CERN-rapport 63-19 (Proc. Intern. Conf. on sector-focused cyclotrons, Genève 1963), blz. 80.
[11] N. Christophilos, U.S. patent 2736799.
[12] E. D. Courant, M. S. Livingston en H. S. Snyder, Phys. Rev. **88**, 1190, 1952.
[13] J. Moser, Nachr. Akad. Wiss. Göttingen IIa, jaarg. 1955, blz. 87 (no. 6).
[14] F. A. Heyn en Khoe Kong Tat, Rev. sci. Instr. **29**, 662, 1958.
[15] N. F. Verster en H. L. Hagedoorn, Onderzoek van het magneetveld van een isochroon cyclotron, Philips techn. T. **24**, 106-120, 1962.
[16] Zie P. C. Molhuysen, Bronnen tot de geschiedenis der Leidsche Universiteit, 's-Gravenhage 1913, blz. 389 e.v.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Met dit wat ver uitgesponnen beeld heb ik getracht de technische natuurkunde te plaatsen in het geheel van de natuurkundige activiteiten. Ik hoop ook dat U enigszins gevoeld heeft hoe boeiend dit alles kan zijn. Dit geldt voor mijzelf in het bijzonder in die gevallen waar het mogelijk is theoretische analyse en technische realisering hand in hand te laten gaan. Aanvankelijk lijkt de theorie een onoverzichtelijke hoeveelheid formules; eventuele resultaten met een computer zijn slechts vellen vol cijfers. Naarmate men er meer en meer mee speelt, begint er tekening in te komen, totdat, vaak door het gebruik van schijnbaar wat ingewikkelder wiskundige methodes, de theorie doorzichtig gaat worden. Daardoor kan men de betekenis en het onderlinge samenspel van allerlei factoren overzien en proberen tot een evenwichtig ontwerp te komen. Voor de technische natuurkunde is vaak het belangrijkste nut van een goed theoretisch inzicht dat men de invloed van onvolkomenheden bij de realisering vooraf kan schatten en op grond daarvan de vereiste nauwkeurigheid kan formuleren. Het geeft altijd grote voldoening wanneer men later het verkregen inzicht experimenteel kan bevestigen.

Welk karakter moet nu de vorming tot de zelfstandige beoefening van deze wetenschap hebben? De verregaande specialismen, zoals bijvoorbeeld het ontwerpen en bouwen van cyclotrons en dergelijke, ontwikkelen zich snel, veel daarvan veroudert even snel of verdwijnt uit de belangstelling. Niemand kan voorspellen welk onderdeel van de natuurkunde in de komende 30 jaar het belangrijkste zal worden. Door de complexe samenhang van alle deelgebieden, zoals ik in mijn beeld beschreven heb, kan een kleine verschuiving er gauw toe leiden dat geheel andere problemen aan de orde komen. Daarom moet mijns inziens de fundamentele kennis van de hoofdgebieden van de natuurkunde, hun onderlinge samenhang, een flinke dosis wiskunde en eigen werkzaamheid in een of ander deelgebiedje de kern van het programma blijven vormen.

Tot slot citeer ik Bosscha, hoogleraar in de toegepaste natuurkunde aan de Polytechnische School te Delft, bij de aanvang van zijn colleges in 1873 [17]: „Wij moeten niet uit het oog verliezen, dat er, om een doeltreffend gebruik te kunnen maken van de natuurkrachten, nog iets meer nodig is dan de kennis van zekere practische regels, recepten, die men slechts heeft op te volgen, en van zekere methoden en toestellen, die men slechts heeft na te bootsen . . . . Een grondslag van kennis van de natuurkrachten zelve, een juist begrip van hare werkingen en wetten, zijn de allereerste voorwaarden voor bekwaamheid als ingenieur".

[17] Gedenkschrift van de Koninklijke Akademie en van de Polytechnische School 1842-1905, Delft 1906, blz. 244.

Samenvatting. Hoofdzakelijke inhoud van de rede, door de auteur uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Eindhoven. In een ver uitgesponnen beeldspraak, waarin de beoefening der natuurwetenschappen vergeleken wordt met de geografische exploratie en de ontginning van een nieuw werelddeel, maakt de spreker duidelijk waardoor de „technische natuurkunde" — het vak waarin hij onderwijs zal geven — zich onderscheidt van de experimentele en de theoretische natuurkunde. In het denkbeeldige te exploreren werelddeel wordt bijzondere aandacht besteed aan het gebiedsdeel „cyclotrons" (waarin de spreker zelf de laatste jaren voornamelijk aan de exploratie heeft meegewerkt).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Nieuwe fosforen voor kleurentelevisie

A. Bril en W. L. Wanmaker

535.371.07:621.397.132

Mocht de ligging van het kleurpunt van de „rode" sulfidefosfor die tot voor kort algemeen gebruikt werd in beeldbuizen voor kleurentelevisie zeer bevredigend zijn, met het rendement van deze fosfor was dat in mindere mate het geval. In de Philipslaboratoria te Eindhoven is gevonden dat men rode fosforen kan maken die in dit opzicht uitermate gunstige eigenschappen hebben, door geschikte stoffen te doteren met driewaardige ionen van bepaalde zeldzame aardmetalen. Men heeft tot nu toe de beste resultaten bereikt met fosforen die gedoteerd zijn met europium. Inmiddels hebben europiumfosforen reeds op vrij grote schaal toepassing gevonden.

Op het scherm van een moderne beeldbuis voor kleurentelevisie kunnen vrijwel alle kleuren die in onze omgeving voorkomen, natuurgetrouw worden weergegeven. Deze gunstige eigenschap van de beeldbuizen is te danken aan het feit dat er onder de bij beschieting met katodestralen oplichtende (fluorescerende) stoffen, de fosforen, enkele zijn waarvan het kleurpunt in een van de hoeken van de kleurendriehoek ligt. Zo ligt b.v. het kleurpunt van met zilver gedoteerd zinksulfide (ZnS-Ag) ver in de „blauwe" hoek, dat van (0,75 Zn, 0,25 Cd)S-Ag ver in de „groene" hoek en dat van (0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag ver in de „rode" hoek (*fig. 1*). Men kan dus, door deze drie fosforen in geschikte mate te exciteren en het verkregen licht te mengen, iedere kleur waarvan het kleurpunt in fig. 1 binnen de driehoek *BGR* ligt, tevoorschijn roepen [1].

Het zal duidelijk zijn dat men de vereiste vermenging van de drie lichtsoorten op een beeldscherm alleen kan realiseren met behulp van een samenstel van kleine lichtende gebiedjes. In de beeldbuizen van het meest gebruikelijke type, de schaduwmaskerbuizen, worden de fosforen dan ook aangebracht in regelmatig naast elkaar gelegen stippen. In deze buizen zijn er drie elektronenkanonnen, waarvan ieder één soort stippen beschiet.

Moge de ligging van de kleurpunten van de diverse fosforen dus zeer bevredigend zijn, de geschiktheid van een fosfor voor toepassing in een beeldbuis voor kleurentelevisie wordt niet alléén bepaald door zijn kleurpunt. Dit blijkt direct uit het volgende. Wil men op een beeldbuis met de drie genoemde fosforen b.v. de kleur wit met coördinaten $x = 0{,}310$, $y = 0{,}316$ (het zg. wit *C*, zie fig. 1) te zien krijgen, dan moet de elektronenbundel die de stippen met de rode fosfor beschiet, aanzienlijk sterker zijn dan de twee andere. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat het fluorescentiespectrum van (0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag uitermate breed is: het strekt zich uit van het geel tot in het nabije infrarood. Een flink deel van de fluorescentiestraling draagt dus, gezien het verloop van de ooggevoelig-

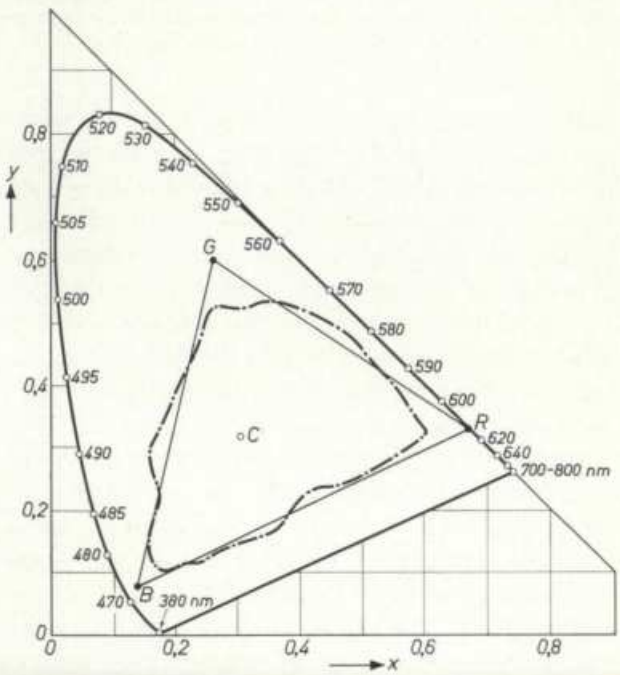

Fig. 1. Kleurendriehoek in x-y-coördinaten. De golflengte van de spectrale kleuren is uitgedrukt in nm (1 nm = 10 Å). De kleurpunten van de drie fosforen die thans voor kleurentelevisie het meest gebruikt worden, zijn *R*, *G* en *B*; alle kleuren waarvan het kleurpunt binnen de driehoek *RGB* ligt, kunnen dus in principe natuurgetrouw worden weergegeven. De kleurpunten van alle in de natuur voorkomende reflexiekleuren, alsmede die van alle bekende verfstoffen en drukinkten, liggen binnen de gepunt-streepte contour.

Dr. A. Bril is medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, dr. W. L. Wanmaker is medewerker van Philips' Hoofdindustriegroep Licht, Eindhoven.

[1] Voor een uitvoeriger behandeling van de grondslagen van de kleurentelevisie zie b.v. F. W. de Vrijer, Philips techn. T. **19**, 80, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

heid, nauwelijks bij tot de lichtgewaarwording; zie *fig. 2*. Anders gezegd: het *lumenequivalent*, d.i. de verhouding tussen het aantal lumen en het vermogen van de uitgezonden straling, is bij (0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag vrij gering. Dit komt ook tot uiting in het feit dat de golflengte waarbij de fluorescentiestraling het sterkst is (ca. 675 nm), aanmerkelijk afwijkt van die van monochromatische straling met hetzelfde kleurpunt (ca. 611 nm).

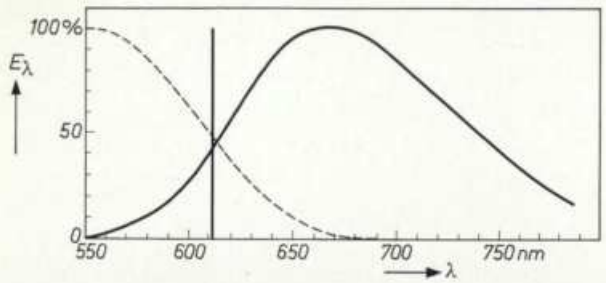

Fig. 2. Spectrale energieverdeling (schematisch) van de fluorescentiestraling van de conventionele „rode" fosfor (0,2 Zn,0,8Cd)S-Ag. Doordat het spectrum zeer breed is en goeddeels valt in een gebied waarin het oog niet of slechts weinig gevoelig is, heeft de fluorescentiestraling van deze fosfor een vrij gering lumenequivalent. Zou hetzelfde vermogen worden uitgezonden in de vorm van monochromatisch licht met een golflengte van 611 nm (voorgesteld door de verticale rechte), dan zou men, met behoud van de kleur, een veel grotere hoeveelheid licht verkrijgen. De streeplijn is de ooggevoeligheidskromme. (Van beide krommen is het maximum gelijk gesteld aan 100%.)

Het is nu gebleken [2] dat men een rode fluorescentie met nagenoeg hetzelfde kleurpunt en een zeer groot lumenequivalent verkrijgt door bepaalde stoffen te doteren met driewaardig *europium*. De fluorescentiestraling van deze fosforen wordt nl. in hoofdzaak uitgezonden in een golflengte-interval van slechts een tiental nm of nog minder, een bijkans ideale situatie [3]. Als voorbeeld geven we in *fig. 3* het fluorescentiespectrum van het door ons ontwikkelde [4] met europium gedoteerde gadoliniumoxide (Gd_2O_3-Eu).

Dank zij het zeer grote lumenequivalent is bij de tot nu toe bekende europiumfosforen de verhouding tussen de uitgezonden lichtstroom en het vermogen der opvallende elektronen — het zg. *lichtrendement* — aanmerkelijk groter dan bij (0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag; dit ondanks het feit dat het *energie-rendement* — d.i. het quotiënt van het vermogen der fluorescentiestraling en dat der opvallende elektronen — geringer is. Door het hoge lichtrendement van de Eu-fosforen is het thans mogelijk televisiebeelden te verkrijgen die aanmerkelijk helderder zijn: bij het produceren van het helderste wit b.v. behoeft men nu niet langer een groot deel van de „capaciteit" van de groene en de blauwe fosfor ongebruikt te laten omdat de rode zijn maximum bereikt heeft. Voor de witte kleuren kan de luminantie van het beeldscherm globaal 1½ maal zo hoog worden [5].

In het nu volgende willen we eerst uiteenzetten waaraan het te danken is dat men door met Eu te doteren zulk een smal fluorescentiespectrum krijgt. Vervolgens geven we een korte beschouwing omtrent de wijze waarop men Eu-fosforen kan maken en omtrent de eisen waaraan de te doteren stof, de basisstof, moet voldoen wil men er met succes Eu^{3+} in kunnen aanbrengen. Tot slot volgt een wat uitvoeriger beschrijving van de eigenschappen van Gd_2O_3-Eu en een vergelijking hiervan met die van enige door andere onderzoekers bereide Eu-fosforen. Het zal blijken dat de Eu-fosforen behalve een goed lichtrendement nog meer aantrekkelijke eigenschappen hebben, ook voor andere toepassingen dan in televisie-beeldbuizen.

Fig. 3. De spectrale energieverdeling van met europium gedoteerd Gd_2O_3 dat wordt geëxciteerd met elektronen van 20 keV. Er zijn twee uiterst smalle spectrumlijnen die dicht bij elkaar liggen (golflengte 611,3 en 614,2 nm). Dank zij deze eigenschap vertoont Gd_2O_3-Eu een relatief zeer hoog lumenequivalent.

Fluorescentie van stoffen gedoteerd met zeldzame aardmetalen

De atomen van de zeldzame aardmetalen onderscheiden zich van die van de andere elementen doordat niet alleen de aan de periferie gelegen elektronenschil onvolledig gevuld is, maar óók een dieper gelegen schil, de *N*-schil; hiervan is de 4*f*-groep incompleet,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zie *tabel I*. Overgangen van elektronen in deze schil, door absorptie of emissie van straling, worden ten gevolge van deze diepe ligging weinig gestoord door de omgeving; de elektronen in de *O*-schil zorgen nl. voor een effectieve afscherming. Daardoor zijn b.v. de emissielijnen van driewaardige ionen van zeldzame aardmetalen — hier ontbreken dus de buitenste drie elektronen — zeer smal. Bij kamertemperatuur ligt hun breedte tussen 0,5 en 1 nm, bij de temperatuur van vloeibare stikstof (−196 °C) is de lijnbreedte soms slechts 0,3 nm. In dit opzicht onderscheiden de stoffen die met driewaardige zeldzame aarden gedoteerd zijn, zich sterk van de meeste andere fluorescerende stoffen; bij de laatste bestaat het fluorescentiespectrum in het algemeen uit brede banden.

Verder hangen de ligging en breedte van de fluorescentielijnen, dank zij deze afscherming, óók nauwelijks af van de aard van de basisstof. De spectra van de verschillende met een bepaald zeldzaam aardmetaal gedoteerde fosforen verschillen wat de ligging van de fluorescentielijnen betreft onderling dan ook weinig. Globaal zijn ze gelijk aan de spectra die men vindt bij excitatie in een niet-storende omgeving (vonkontlading; *fig. 4*). Wel vertonen de spectrumlijnen, door het elektrische veld dat in het kristal heerst, een meer of minder sterke Stark-splitsing.

Anders is het gesteld met de relatieve intensiteiten van de lijnen: deze kunnen, ook bij een slechts gering

Tabel I. Elektronenconfiguratie van de zeldzame aardmetalen ($Z = 58$ t/m $Z = 71$). Bij deze elementen is de 4*f*-groep van de *N*-schil onvolledig gevuld hoewel die niet aan de periferie ligt. (Deze gegevens zijn ontleend aan: B. G. Wybourne, Spectral properties of rare earths, J. Wiley, New York 1965.)

Schil	*K*	*L*		*M*			*N*				*O*			*P*
n	1	2		3			4				5			6
Element *l*	*s* 0	*s* 0	*p* 1	*s* 0	*p* 1	*d* 2	*s* 0	*p* 1	*d* 2	*f* 3	*s* 0	*p* 1	*d* 2	*s* 0
57 La	2	2	6	2	6	10	2	6	10	—	2	6	1	2
58 Ce	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1	2	6	1	2
59 Pr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6	—	2
60 Nd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6	—	2
61 Pm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6	—	2
62 Sm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6	—	2
63 Eu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	—	2
64 Gd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1	2
65 Tb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6	—	2
66 Dy	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6	—	2
67 Ko	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6	—	2
68 Er	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6	—	2
69 Tu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6	—	2
70 Yb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	—	2
71 Lu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1	2
72 Hf	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2	2

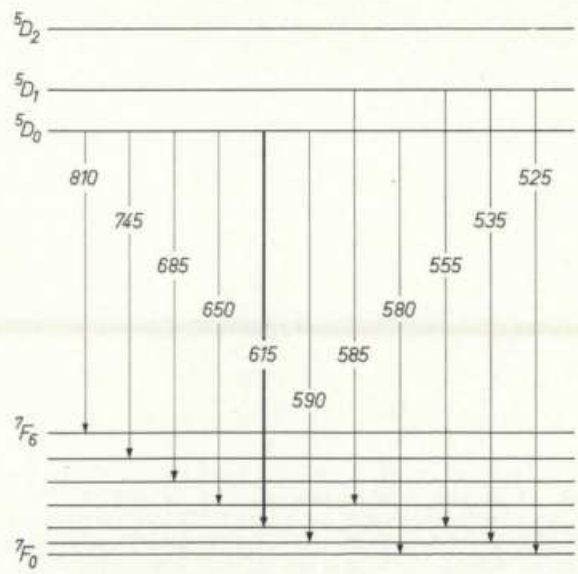

Fig. 4. Deel van het niveauschema van driewaardig europium met daarin aangegeven de overgangen die gepaard gaan met emissie van licht [6]. De getallen zijn de golflengten van de desbetreffende spectrumlijnen (afgerond op 5 nm).

[2] A. Bril en W. L. Wanmaker, J. Electrochem. Soc. **111**, 1363, 1964 (no. 12) en A. Bril, W. L. Wanmaker en C. D. J. C. de Laat, J. Electrochem. Soc. **112**, 111, 1965 (no. 1).

[3] Vgl. A. Bril en H. A. Klasens, Philips Res. Repts. **10**, 305, 1955, waar op blz. 317 de eisen waaraan de ideale rode fosfor zou moeten voldoen, geformuleerd worden.

[4] Zie de aangehaalde artikelen [2]. De fluorescentie van met zeldzame aarden gedoteerde stoffen is reeds gevonden door G. Urbain (Ann. Chim. Phys. **18**, 293, 1909); hij verkreeg echter uitsluitend spectra die een groot aantal verspreid liggende lijnen bevatten.

[5] Voor uitvoeriger gegevens hieromtrent zie A. Bril en C. D. J. C. de Laat, Light output of colour television screens with Eu-activated phosphors as a red component, Symposium on colour television phosphor screen applications, San Francisco 1965 (Spring Meeting Electrochem. Soc.), verschijnt binnenkort in Electrochem. Technol.

[6] Ontleend aan M. A. El'yashevich, Spectra of the rare earths, boek 2, Off. Tech. Serv., Dept. of Commerce, Washington D.C. 1961.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verschil in de omringing van de ionen, sterk uiteenlopen. Een voorbeeld daarvan vindt men in *fig. 5*, waar de fluorescentiespectra zijn weergegeven die Gd_2O_3-Eu, $Gd_2O_3.B_2O_3$-Eu en $GdVO_4$-Eu vertonen bij excitatie met kortgolvige ultraviolette straling. In de eerste stof zijn de rode lijnen bij 611,3 en 614,2 nm, die corresponderen met de overgangen van het $^5D_0$- naar het $^7F_2$-niveau, veel sterker dan de oranje lijnen bij 590 nm, die betrekking hebben op overgangen van het $^5D_0$- naar het $^7F_1$-niveau; in de tweede stof is het juist andersom.

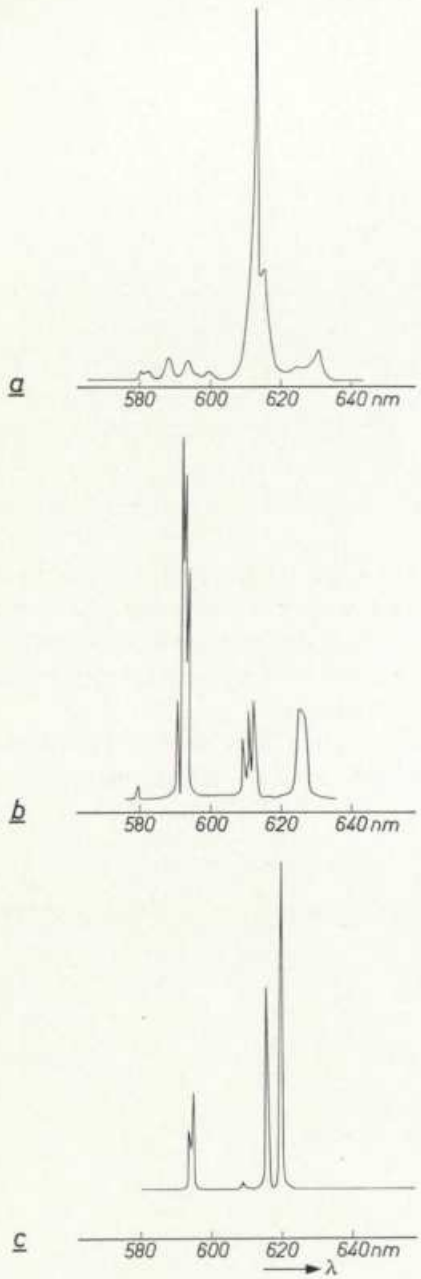

Fig. 5. De golflengten van de lijnen van het fluorescentiespectrum worden nauwelijks beïnvloed door de aard van de stof waarin men het europium aanbrengt. Men ziet hier de spectra van *a*) Gd_2O_3-Eu, *b*) $Gd_2O_3.B_2O_3$-Eu en *c*) $GdVO_4$-Eu. In alle drie de stoffen vindt men een groepje lijnen tussen 590 en 600 nm en een tussen 610 en 620 nm. De intensiteitsverdeling is echter zeer verschillend. (De ordinaatschalen zijn zo gekozen dat de hoogste pieken in de drie figuren ongeveer even hoog zijn.)

Dank zij de geringe wisselwerking met de omgeving is het rendement van de fluorescentie vaak hoog en hangt het slechts zwak van de temperatuur af: verscheidene fosforen kan men verwarmen tot 300 à 400 °C zonder dat het rendement in belangrijke mate afneemt (*fig. 6*). Ook in dit opzicht onderscheiden de met Eu gedoteerde fosforen zich gunstig van de sulfide-fosfor; van laatstgenoemde is de intensiteit bij 100 °C reeds tot de helft gedaald.

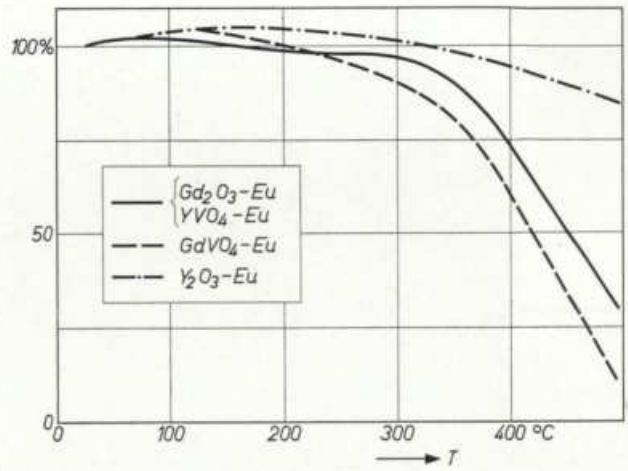

Fig. 6. Het verloop van de intensiteit van de fluorescentiestraling van enige Eu-fosforen met de temperatuur. De intensiteit bij kamertemperatuur is gelijk gesteld aan 100%. Tot 300 °C heeft de temperatuur nauwelijks invloed.

Vooral door de grote variaties in de intensiteiten van de diverse fluorescentielijnen die uitgezonden kunnen worden, is het nog geenszins mogelijk om voor alle gevallen te voorspellen welke combinatie van basisstof en dotering men moet kiezen om een fosfor te krijgen die aan zeer bepaalde eisen voldoet; er ligt hier nog een breed veld van onderzoek open.

De bereiding van met Eu gedoteerde fosforen

De met Eu gedoteerde fosforen worden bereid door chemische vaste-stofreacties. Eerst wordt een zeer homogeen mengsel van de uitgangsstoffen gemaakt. Vervolgens wordt dit mengsel aan de lucht verhit en gedurende een zekere tijd op hoge temperatuur (1000-1300 °C) gehouden. Bij de bereiding van Gd_2O_3-Eu b.v. kan men uitgaan van een mengsel van zeer zuiver Gd_2O_3 en Eu_2O_3 of van zouten van Eu en Gd die bij verhitting ontleden en een oxide leveren. Aangezien vaste-stofreacties zelden geheel aflopen, wordt meestal na de verhitting het produkt fijn gemaakt, gehomogeniseerd en vervolgens ten tweeden male verhit.

Een uitgangsstof die zeer gunstig is gebleken, is

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

europiumoxalaat. Dit ontleedt reeds bij betrekkelijk lage temperatuur en gaat daarbij over in een uiterst fijn, dus zeer reactief, poeder. Dit oxalaat wordt verkregen door in de handel verkrijgbaar europiumoxide op te lossen in HCl, oxaalzuur toe te voegen, en vervolgens het neerslag af te filtreren, te wassen en te drogen.

Verder hebben wij gevonden dat het rendement gunstig wordt beïnvloed door ook een zekere hoeveelheid van een fluoride — bij voorkeur europiumfluoride — aan het uitgangsmengsel toe te voegen.

De hoeveelheid europium waarmee de basisstof gedoteerd wordt, kan men niet onbeperkt vergroten. Bij een zekere europiumconcentratie bereikt het rendement een maximum; daarboven neemt het weer af (zg. concentratiedoving). Bij Gd_2O_3-Eu ligt dat maximum, naar wij vonden [7], bij ongeveer 0,06 gramatoom europium per mol Gd_2O_3.

Om fosforen met een hoog rendement te krijgen, moeten de zeldzame aarden goed kunnen worden ingebouwd. Men moet daarom stoffen kiezen waarin het metaalion dezelfde waardigheid en ongeveer dezelfde straal heeft als europium, zoals Gd_2O_3, Y_2O_3 en $GdVO_4$. Bovendien is het waarschijnlijk gunstig als de kristalstructuur van de basisstof overeenkomt met die van de corresponderende europiumverbinding; bij het doteren kan dan geen verandering van kristalstructuur optreden. Gd_2O_3 en Eu_2O_3 voldoen aan deze voorwaarde, La_2O_3 en Eu_2O_3 niet. Mogelijk is dit een van de oorzaken van het feit dat het energierendement bij katodestraalexcitatie van La_2O_3-Eu lager is dan dat van Gd_2O_3-Eu en Y_2O_3-Eu.

De voornaamste technisch belangrijke eigenschappen

Zoals uit fig. 3 bleek, zendt Gd_2O_3-Eu in hoofdzaak licht uit met golflengten van 611,3 en 614,2 nm. Het kleurpunt daarvan heeft de coördinaten $x = 0{,}66$ en $y = 0{,}34$. Deze stemmen nagenoeg overeen met die van de conventionele rode fosfor (0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag en wijken dus eveneens slechts weinig af van die welke door de NTSC (National Television System Committee) in de V.S. genormaliseerd zijn ($x = 0{,}67$ en $y = 0{,}33$), corresponderend met een spectrumlijn met een golflengte van 612 nm.

In *tabel II* vindt men een vergelijking van het rendement van Gd_2O_3-Eu met dat van (0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag. Dank zij het uitzonderlijk hoge lumenequivalent, is het lichtrendement van Gd_2O_3 veel hoger dan dat van het sulfide hoewel het energierendement lager is. Dit laatste geldt trouwens voor alle oxidische fosforen; van deze groep heeft Gd_2O_3-Eu zelfs het hoogste energierendement.

Het is interessant de bovenstaande gegevens te vergelijken met twee door anderen ontwikkelde Eu-fosforen en wel Y_2O_3-Eu [8] en YVO_4-Eu [9]; laatstgenoemde stof wordt reeds op vrij grote schaal toegepast. Het spectrum van Y_2O_3-Eu is vrijwel identiek met dat van Gd_2O_3-Eu, maar het rendement is, blijkens door ons verrichte metingen, lager. Bij YVO_4-Eu hebben de beide sterke rode spectrumlijnen een iets grotere golflengte (614 en 619 nm); bovendien is er een sterke lijn bij 700 nm. Door dit spectrum is er uiteraard een iets betere weergave van de donkerrode kleuren mogelijk dan bij gebruik van Gd_2O_3-Eu — het kleurpunt ligt verder in de rode hoek — maar met het lumenequivalent is het natuurlijk veel ongunstiger gesteld; wij vonden hiervoor slechts 245 lm/W, terwijl dat voor Y_2O_3-Eu en Gd_2O_3-Eu 300 lm/W bedraagt. De vraag aan welke stof nu voor praktische toepassing de voorkeur gegeven moet worden, is, ook afgezien van het subjectieve element in de beoordeling, niet op grond van de bovenstaande eigenschappen alleen te beantwoorden. Naast het rendement en het kleurpunt dient men ook factoren in aanmerking te nemen, waarvan de bespreking buiten het kader van dit artikel valt, zoals de prijs en de verwerkbaarheid van de stoffen.

Een bijkomend, maar niet onbelangrijk, voordeel van het gebruik van de Eu-fosforen is het feit dat ze, bekeken bij daglicht, wit zijn. Dankzij deze eigenschap kan de dominerende golflengte van de kleuren van een beeld niet veranderen wanneer men bijverlichting ontsteekt: de kleuren worden er alleen iets minder verzadigd door. Zo worden op het scherm van een buis met

Tabel II. Vergelijking van het energierendement η, het lumenequivalent L en het lichtrendement l van de tot voor kort gangbare rode fosfor voor gewone beeldbuizen, van de rode fosfor voor grootbeeld-projectietelevisie en van de europiumfosfor op basis van Gd_2O_3. De waarden gelden voor de belasting die gangbaar is in gewone beeldbuizen. Bij zeer hoge belasting, zoals bij projectietelevisie, vertoont de sulfidefosfor verzadiging en is deze minder goed dan $(Zn, Be)_2SiO_4$-Mn. Het verband tussen de drie opgegeven grootheden kan worden uitgedrukt in de formule: $l = \eta L$.

	η (%)	L (lm/W)	l (lm/W)
(0,2 Zn, 0,8 Cd)S-Ag	17	75	13
$(Zn,Be)_2SiO_4$-Mn + rood filter	3	185	5,5
Gd_2O_3-Eu	9	300	27

[7] Zie het tweede van de onder [2] aangehaalde artikelen.

[8] De eigenschappen van deze stof zijn onderzocht door K. A. Wickersheim en R. A. Lefever (J. Electrochem. Soc. **111**, 47, 1964), door N. C. Chang (J. appl. Phys. **34**, 3500, 1963) en door R. C. Ropp (J. Electrochem. Soc. **111**, 311, 1964 en **112**, 181, 1965).

[9] De eigenschappen van deze stof zijn onderzocht door L. G. Van Uitert, R. C. Linares, R. R. Soden en A. A. Ballman (J. chem. Phys. **36**, 702 en 1793, 1962). De stof is ontwikkeld voor toepassing in buizen voor kleurentelevisie door A. K. Levine en F. C. Palilla (Appl. Phys. Letters **5**, 118, 1964).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een Eu-fosfor b.v. de zwarte partijen donkergrijs als men bijverlichting ontsteekt; op het scherm met de conventionele sulfide-fosfor, die oranje is, worden ze echter enigszins oranje (bruin) gekleurd (*fig. 7*).

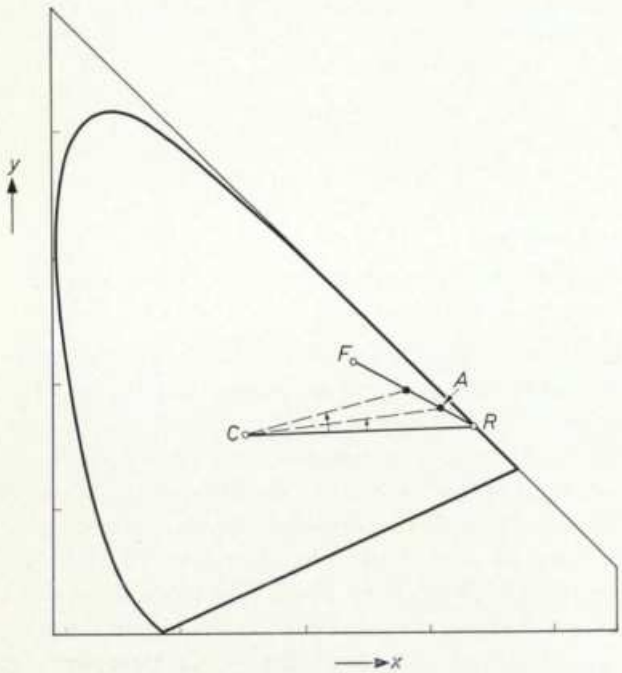

Fig. 7. Wanneer men bijverlichting ontsteekt, wordt het oog niet alleen getroffen door de fluorescentiestraling van het scherm van de beeldbuis (kleurpunt b.v. *R*) maar ook door gereflecteerd licht (kleurpunt b.v. *F*). Het kleurpunt *A* van het geheel ligt ergens op de lijn *RF*; naarmate de bijverlichting sterker is, ligt *A* dichter bij *F*. In het getekende geval krijgt men een vrij sterke kleurverschuiving. Is de fosfor wit, dan verkeert men in het bijzondere geval dat *F* samenvalt met *C*. Het punt *A* ligt dan steeds op de lijn *CR*. Bij het ontsteken van bijverlichting treedt nu géén kleurverschuiving op; de kleur wordt alleen minder verzadigd.

Europiumfosforschermen zijn ook uitermate geschikt voor buizen voor grootbeeld-projectietelevisie. Hierbij worden de beelden van een rood, een blauw en een groen fluorescerende buis sterk vergroot over elkaar geprojecteerd. Om voldoende licht op het projectiescherm te krijgen, moeten de buizen zeer zwaar belast worden [10]. Eu-fosforen hebben wat dit betreft zeer gunstige eigenschappen. In de eerste plaats kan men de belasting zeer hoog opvoeren alvorens er enige verzadiging in de lichtemissie merkbaar wordt. In de tweede plaats hangt het rendement, zoals we gezien hebben (fig. 6), in een zeer groot gebied nauwelijks van de temperatuur af, zodat ook de hoge temperatuur die het gevolg is van zware belasting, het rendement niet ongunstig beïnvloedt. Bovendien is dit rendement vijfmaal zo hoog als van de thans voor grootbeeld-projectietelevisie het meest gebruikte fosfor (met mangaan geactiveerd zink-beriliumsilicaat; zie tabel II). Door een Eu-fosfor te gebruiken, krijgt men met wit licht 16 lm/W op het scherm, tegen 11 bij gebruik van de silicaatfosfor. Deze grote verbetering illustreert maar ten dele het hoge rendement van de Eu-fosfor omdat nu niet meer de rode fosfor de begrenzende factor is, maar de blauwe.

De praktische toepassing van Eu-fosforen behoeft geenszins beperkt te blijven tot televisiebuizen. Door de aanwezigheid van een klein aantal smalle emissielijnen gecombineerd met een hoog rendement, zijn ze zeer geschikt als materiaal voor lasers; wel moet men ze dan prepareren in de vorm van monokristallen. Het behoud van de gunstige eigenschappen bij hoge temperatuur maakt ze ook aantrekkelijk voor toepassing in die typen van ontladingslampen waarin de fosfor zeer heet kan worden met name in de hogedruk-kwiklampen met fluorescentielaag.

[10] Voor een uitvoeriger behandeling zie b.v. T. Poorter en F. W. de Vrijer, Philips techn. T. **19**, 353-370, 1957.

Samenvatting. De conventionele rode fosfor in weergeefbuizen voor kleurentelevisie heeft een vrij laag rendement doordat het fluorescentiespectrum ervan zeer breed is en het lumenequivalent van de straling derhalve vrij klein (75 lm/W). Men heeft gevonden dat met driewaardige zeldzame aarden (in het bijzonder europium) gedoteerde fosforen een uiterst smal spectrum kunnen hebben en dus een veel groter lumenequivalent (>300 lm/W). In deze metalen is de 4*f*-groep van de *N*-schil onvolledig gevuld. Door de diepe ligging ervan wordt de golflengte van de europiumlijnen weinig beïnvloed door de aard van de basisstof; wèl hun intensiteitsverhouding. De in de Philipslaboratoria ontwikkelde fosfor Gd_2O_3-Eu zendt twee sterke rode lijnen uit (611 en 614 nm, kleurpunt $x = 0{,}66$, $y = 0{,}34$) en heeft een lichtrendement van 27 lm/W. Dit is meer dan tweemaal zo hoog als van de conventionele fosfor. De luminantie van witte kleuren op het scherm van een beeldbuis kan daardoor ruwweg 1½ maal zo hoog worden. De fosfor is, doordat de fluorescentie tot 300 °C nauwelijks van de temperatuur afhangt, ook zeer geschikt voor grootbeeld-projectietelevisie en voor gebruik in ontladingslampen die heet worden.

RECTIFICATIES

Dipl.-Phys. E. Andrich en dr. K. H. Härdtl, de schrijvers van het artikel „Onderzoekingen aan halfgeleiders van $BaTiO_3$", Philips techn. T. **26**, 285-293, 1964/65 (no. 8/9/10), zijn medewerkers van het laboratorium *Aken* van Philips Zentrallaboratorium GmbH. In de voetnoot op blz. 285 bij het genoemde artikel zijn zij abusievelijk ingedeeld bij het laboratorium Hamburg.

Op blz. 347 van het artikel „Een hermetische stang- en zuigerafdichting voor grote drukverschillen" in Philips techn. T **26**, 345-354, 1964/65 (no. 11/12), zijn de clichés van fig. 3 en fig. 4 verwisseld: het bovenste cliché slaat op de „bolle sok", het onderste op de „holle sok".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een wervelstroomkoppeling toegepast als regelbare aandrijving

W. Bähler en W. van der Hoek

538.541:62-578.3

Het idee van de wervelstroomkoppeling is niet nieuw; reeds lang geleden werd deze gebruikt voor het overbrengen van grote vermogens. De laatste jaren is door de toenemende mechanisatie de belangstelling opnieuw gegroeid, omdat de wervelstroomkoppeling en vooral de homopolaire uitvoering daarvan, ook als regelbare aandrijving voor gering vermogen enige aantrekkelijke eigenschappen bezit. In het bijzonder biedt de elektronische besturing van de koppeling vele mogelijkheden voor de industriële regeltechniek en voor de procesbeheersing.

In 1825 ontdekte Arago dat er krachten bestonden tussen een draaiende koperen schijf en een daarboven opgehangen magneetnaald (*fig. 1*). Arago kon dit

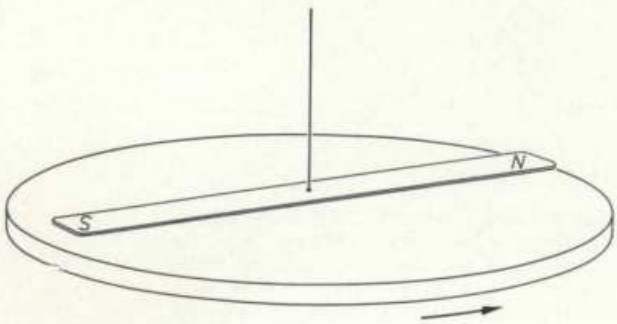

Fig. 1. Proef van Arago. Een koperen schijf roteert in zijn eigen vlak. Een magneetnaald, die er boven vrij draaibaar is opgehangen, gaat meedraaien.

verschijnsel niet verklaren en noemde het „rotatiemagnetisme". Pas toen Faraday in 1831 de inductieverschijnselen ontdekte, begreep men dat het veld van de magneetnaald wervelstromen opwekt in de draaiende schijf. De krachten die ontstaan tussen deze elektrische stromen en het magneetveld, hebben tot gevolg dat de naald met de schijf gaat meedraaien.

Deze wervelstromen, die algemeen optreden in geleidend materiaal dat zich in een met de tijd veranderend magneetveld bevindt, zijn nadien, bij de opkomst van de elektrische machines, veelvuldig onderwerp van studie geweest — enerzijds omdat men de door de wervelstromen veroorzaakte verliezen, b.v. in het ijzer van een transformator, zoveel mogelijk wilde beperken, anderzijds omdat men de mogelijkheden van toepassing wilde onderzoeken. De wervelstroomkoppeling is één van de mogelijke toepassingen. De proef van Arago kan worden beschouwd als de eerste demonstratie hiervan.

Ir. W. Bähler is medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven; prof. ir. W. van der Hoek is medewerker van de afdeling Bedrijfsmechanisatie van Philips' Hoofdindustriegroep Radio-, Grammofoon- en Televisieapparaten, Eindhoven, en tevens buitengewoon hoogleraar in de Werktuigbouwkunde aan de Technische Hogeschool te Eindhoven.

Bouw van een wervelstroomkoppeling

Bij de wervelstroomkoppelingen zoals die later in vele uitvoeringsvormen werden ontwikkeld, vinden we steeds twee delen die vrij ten opzichte van elkaar verdraaid kunnen worden (*fig. 2*). Met de inductor *1* wordt het magneetveld opgewekt. Het tweede gedeelte, de wervelstroomcilinder *2* (soms ook een schijf), bestaat uit geleidend materiaal, waarin de wervelstromen ontstaan.

Vaak is de inductor voorzien van één of meer spoe-

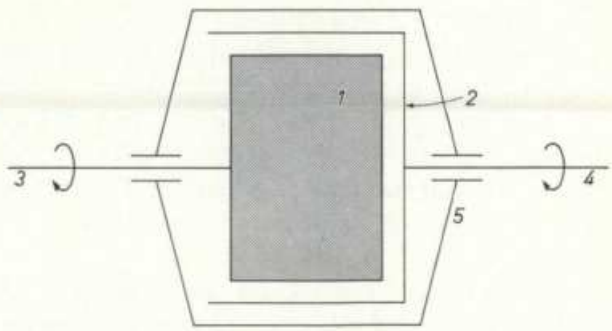

Fig. 2. Schematische voorstelling van de wervelstroomkoppeling. *1* inductor. *2* wervelstroomcilinder. De ingaande as *3* en de uitgaande as *4* zijn gelagerd in het huis *5*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

len, die via sleepringen kunnen worden bekrachtigd en die zo zijn gewikkeld dat aan de omtrek van de inductor afwisselend noord- en zuidpolen ontstaan. De spoelen worden bekrachtigd met gelijkstroom. Wordt de inductor gedreven, dan draait het magneetveld eveneens. We hebben een situatie die veel overeenkomst vertoont met de situatie bij een draaistroommotor, waar een draaiend magneetveld wordt verkregen langs elektrische weg. Evenals bij de draaistroommotor moet ook bij de wervelstroomkoppeling een zekere „slip" aanwezig zijn tussen het draaiende magneetveld en de wervelstroomcilinder, opdat er een koppel op de uitgaande as wordt overgebracht.

Door het ontbreken van mechanisch contact tussen inductor en wervelstroomcilinder is de wervelstroomkoppeling geschikt voor het overbrengen van vermogen bij onregelmatige en stotende belasting, zoals voorkomt bij walswerktuigen en kranen. Andere voordelen zijn nog dat de koppeling kan worden bestuurd met een gelijkstroom van gering vermogen en dat het koppel, door het afwezig zijn van sleuven of staven in de wervelstroomcilinder, geheel vrij is van rimpel.

De wervelstroomkoppeling wordt heteropolair genoemd wanneer de bijbehorende inductor zowel noord- als zuidpolen bezit. Deze heteropolaire uitvoering wordt veel toegepast voor het overbrengen van grote vermogens.

Voor een goede werking van de koppeling is het echter niet noodzakelijk dat de polariteit van het magneetveld omkeert. Het is voldoende wanneer het veld verandert tussen een minimale en een maximale waarde. Deze zg. homopolaire constructie brengt met zich mee dat bij een zelfde maximale amplitude van het magneetveld slechts een kwart kan worden verkregen van het koppel dat mogelijk is met de heteropolaire uitvoering; tegenover dit nadeel staat echter het voordeel dat er een aantal constructieve vereenvoudigingen zijn.

In sommige gevallen kunnen we nl. bij de homopolaire constructie volstaan met één centrale spoel, die niet meedraait met de inductor, waardoor het toevoeren van de bekrachtigingsstroom zeer eenvoudig en betrouwbaar kan geschieden. Het plaatselijk veranderen van de intensiteit van het magneetveld verkrijgen we in deze gevallen door de inductor uit te voeren als een schijf met „vingers", die kan draaien in de ruimte tussen de spoel en de cilinder (*fig. 3*).

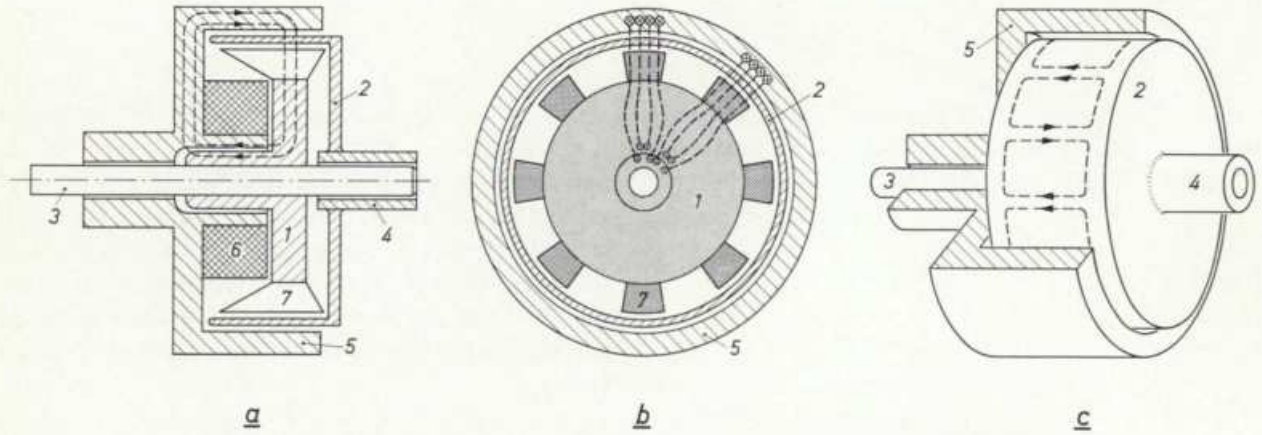

Fig. 3. Schets van een homopolaire wervelstroomkoppeling. *1* inductor, die hier gemagnetiseerd wordt door één enkele stilstaande bekrachtigingsspoel *6*. *2* wervelstroomcilinder. De ingaande as *3* is gelagerd in het huis *5*, dat evenals de inductor is gemaakt van ferromagnetisch materiaal. De uitgaande as *4* is gelagerd op de ingaande as. *7* „vingers" van de inductor.
In (*a*) en (*b*) is het verloop van de magnetische krachtlijnen getekend. In (*c*) zijn de banen van de wervelstromen geschetst.

De homopolaire uitvoering met vaste bekrachtigingsspoel is bijzonder geschikt gebleken om te worden gebruikt als regelbare aandrijving voor gering vermogen.

Een vereenvoudigd model

Voor elke toepassing van de wervelstroomkoppeling worden specifieke eisen gesteld. Om hieraan bij de constructie zoveel mogelijk te kunnen voldoen, is het nodig dat wij nagaan welke invloed bepaalde grootheden zoals de relatieve hoeksnelheid van de inductor ten opzichte van de wervelstroomcilinder, de afmetingen, de grootte van de bekrachtigingsstroom en ook de materiaalkeuze, hebben op de eigenschappen van de koppeling. We doen dit door een vereenvoudigd model te beschouwen.

Er wordt verondersteld dat een oneindig grote vlakke plaat met dikte δ_1 zich bevindt in een eveneens vlakke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

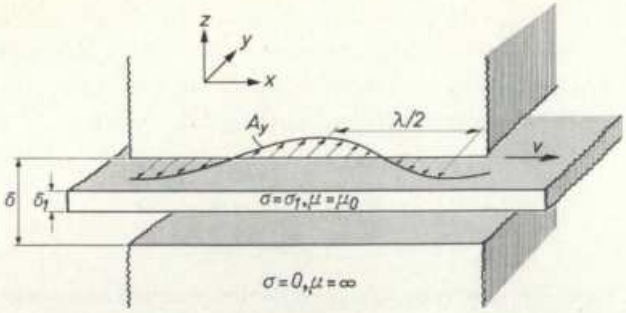

Fig. 4. Vereenvoudigde voorstelling van een wervelstroomkoppeling, ter afleiding van de formules voor het verkregen koppel.

luchtspleet met een hoogte δ (*fig. 4*). De luchtspleet wordt aan de boven- en aan de onderzijde begrensd door magnetisch materiaal dat een geleidingsvermogen nul heeft: $\sigma = 0$, en een oneindig grote magnetische permeabiliteit: $\mu = \infty$. De plaat heeft een soortelijk geleidingsvermogen $\sigma = \sigma_1$ en een magnetische permeabiliteit $\mu = \mu_0$, dezelfde als die van lucht.

Op de begrenzing van de bovenste ruimte, het vlak $z = +\frac{1}{2}\delta$, bevindt zich een oneindig dunne stroomlaag met een sinusvormig patroon van in de positieve en in de negatieve y-richting lopende stromen. De stroom hangt niet van y af. De „poolsteek", de lengte van een halve periode van dit sinusvormige patroon, noemen we $\lambda/2$. De stroomlaag beweegt met een snelheid v in de positieve x-richting. De plaat staat stil.

Vergelijken we dit model met de werkelijke wervelstroomkoppeling, dan zien we dat de inductor wordt voorgesteld door de stroomlaag, en de wervelstroomcilinder door de plaat. De snelheid v van de stroomlaag is gelijk aan het snelheidsverschil dat bij een werkelijke koppeling bestaat tussen de inductor en de wervelstroomcilinder.

Doordat de stromen in de bekrachtigingsstroomlaag slechts in de positieve en negatieve y-richting lopen, heeft het hierdoor opgewekte magneetveld in de luchtspleet geen y-component. Doordat bovendien de x- en de z-component van het magneetveld onafhankelijk zijn van y, bevat de elektrische veldsterkte in de luchtspleet alléén een y-component.

Uitgaande van de vergelijkingen van Maxwell, kunnen we voor de elektrische veldsterkte in de luchtspleet een differentiaalvergelijking opstellen, de „golfvergelijking", die we voor de stationaire toestand moeten oplossen.

Voor A_y, de grootte van de bekrachtigingsstroom, schrijven we daarbij:

$$A_y = A_{y0} \exp \left\{ \mathrm{j} \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \right\}, \quad . \quad . \quad (1)$$

waarin A_{y0} de amplitude van de stroom is.

Als gevolg van de periodiciteit van het zich verplaatsende patroon van de bekrachtigingsstroom moet in elk punt de elektrische veldsterkte in het stationaire geval gegeven zijn door een oplossing van de golfvergelijking met een zelfde tijdsafhankelijkheid als die van de bekrachtigingsstroom. Voor E_y, de y-component van deze elektrische veldsterkte, schrijven we daarom:

$$E_y = E_{y0}(z) \exp \left\{ \mathrm{j} \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \right\}, \quad . \quad . \quad (2)$$

waarin $E_{y0}(z)$ een complexe rekengrootheid is die behalve de amplitude ook de fazeverschuiving aangeeft van de elektrische veldsterkte ten opzichte van de bekrachtigingsstroom.

Houdt men bij de oplossing (2) van de golfvergelijking rekening met de randvoorwaarden die gelden bij het model (fig. 4), dan blijkt $E_{y0}(z)$ bij benadering zowel in de wervelstroomplaat als in de lucht onafhankelijk van z te zijn en gelijk aan:

$$E_{y0}(z) = - \frac{\mu_0 \, v \, A_{y0}}{v\sigma_1\delta_1\mu_0 - \mathrm{j}\, 2\pi\delta/\lambda}. \quad . \quad . \quad (3)$$

Hiermee hebben we het verband gevonden tussen de elektrische veldsterkte in de plaat en de bekrachtigingsstroom. Wat ons echter vooral interesseert, is de kracht die door het bewegende magneetveld op de stilstaande plaat wordt uitgeoefend.

Deze kracht kan op bijzonder eenvoudige wijze worden gevonden met behulp van een energiebeschouwing. De over een poolsteek gemiddelde Joule-warmte die door de wervelstromen in de plaat wordt ontwikkeld, is gelijk aan de arbeid die de over een halve periode gemiddelde tangentiële kracht K per eenheid van oppervlakte en per tijdseenheid verricht. Per volumedeeltje $\delta_1 \mathrm{d}x$ bedraagt de Joule-warmte $E_y^2 \sigma_1 \delta_1 \mathrm{d}x$. Er moet dus gelden:

$$Kv = \frac{1}{\lambda/2} \int_0^{\lambda/2} E_y^2 \, \sigma_1 \, \delta_1 \, \mathrm{d}x. \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Substitutie van verg. (2) in verg. (4) geeft samen met de betrekking (3) na enig uitwerken:

$$K = \frac{\mu_0 \, A_{y0}^2 \, \lambda}{4\pi\delta \left(\frac{v}{v_0} + \frac{v_0}{v} \right)}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

waarin:

$$v_0 = \frac{2\pi\delta}{\lambda\sigma_1\delta_1\mu_0}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Voor $v = v_0$ bereikt de kracht een maximum, dat gelijk is aan:

$$K_{\max} = \frac{\mu_0 \, A_{y0}^2 \, \lambda}{8\pi\delta}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Substitutie van verg. (7) in verg. (5) levert ten slotte:

$$\frac{K}{K_{max}} = \frac{2}{\frac{v}{v_0} + \frac{v_0}{v}}. \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

Verg. (3) leiden we als volgt af [1]. In het door ons beschouwde model wordt een deel van de luchtspleet ingenomen door de wervelstroomplaat. Voor de elektrische veldsterkte in de wervelstroomplaat geldt de driedimensionele golfvergelijking:

$$\nabla^2\mathbf{E} - \mu\sigma\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} = 0, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

voor de elektrische veldsterkte in de lucht:

$$\nabla^2\mathbf{E} = 0. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Substitutie van verg. (2) in (9) en (10) geeft voor $E_{y0}(z)$ uitdrukkingen van de vorm:

$$E_{y0}(z) = P\exp\left\{z\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 + k^2}\right\} + Q\exp\left\{-z\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 + k^2}\right\}, \quad \ldots \quad (11)$$

waarin voor k geldt: $k^2 = j(2\pi/\lambda)\nu\mu\sigma$. (In lucht is $\sigma = 0$; daar geldt dus uitdrukking (11) met $k = 0$.)

P en Q zijn integratieconstanten die in elk van de drie lagen van de luchtspleet — lucht, wervelstroomplaat, lucht — verschillend zijn. Deze integratieconstanten kunnen worden bepaald met behulp van de randvoorwaarden die gelden aan de begrenzingen van de drie lagen. Allereerst is de magnetische permeabiliteit van de wervelstroomplaat gelijk aan die van de lucht. Derhalve geldt dat zowel aan de boven- als aan de onderbegrenzing van de wervelstroomplaat ($z = \pm\frac{1}{2}\delta_1$) de tangentiële componenten en ook de normaalcomponenten van de magnetische veldsterkte, H_x en H_z, aan weerszijden van de begrenzingen gelijk zijn. Door de oneindig grote magnetische permeabiliteit van het materiaal buiten de luchtspleet is de tangentiële component van de magnetische veldsterkte aan de onderbegrenzing ($z = -\frac{1}{2}\delta$) nul. Door de aanwezigheid van de stroomlaag geldt dit niet aan de bovenbegrenzing van de luchtspleet ($z = +\frac{1}{2}\delta$). Wanneer we de kringintegraal nemen van de magnetische veldsterkte langs een platte lus, loodrecht op de y-richting en vlak langs de begrenzing (Maxwell: $\oint H_s ds = i_{el}$), dan vinden we daar $H_x = -A_y$.

Met behulp van de randvoorwaarden vinden we zes vergelijkingen, waarmee de integratieconstanten kunnen worden berekend. Alvorens echter deze vergelijkingen op te lossen, vervangen wij de daarin voorkomende e-machten door de eerste term van hun reeksontwikkeling. Dit is geoorloofd (zie verg. 11) wanneer de hoogte δ van de luchtspleet zowel klein is ten opzichte van de poolsteek $\lambda/2$ als ten opzichte van de skindiepte δ_{skin} [2] van het materiaal van de wervelstroomplaat.

Het oplossen van de vereenvoudigde vergelijkingen levert als resultaat verg. (3).

De koppel-toerental-kromme

Het verband tussen K en v zoals dat is gevonden voor het vereenvoudigde model, geldt in principe ook voor de werkelijke wervelstroomkoppeling. In plaats van de kracht en de snelheid voeren we dan twee andere grootheden in, nl. het koppel M dat op de uitgaande as wordt uitgeoefend, en het relatief toerental n van de ingaande as ten opzichte van de uitgaande as.

Overeenkomend met verg. (8) geldt:

$$\frac{M}{M_{max}} = \frac{2}{\frac{n}{n_0} + \frac{n_0}{n}}, \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

met formules voor M_{max} en n_0 die overeenkomen met (6) en (7). De kromme die wordt gevonden wanneer M wordt uitgezet als functie van n, wordt de koppel-toerental-kromme genoemd (*fig. 5*).

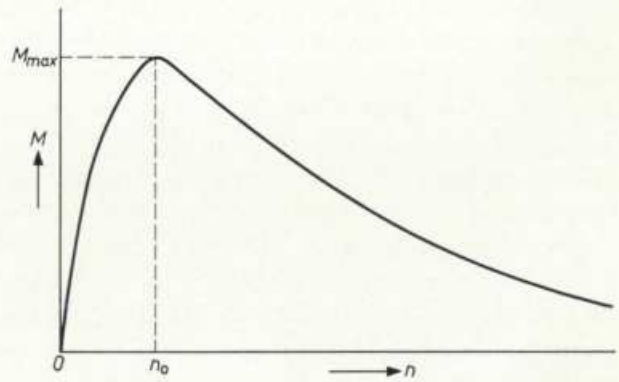

Fig. 5. De koppel-toerental-kromme van een wervelstroomkoppeling. Er wordt een maximaal koppel M_{max} bereikt bij een toerental n_0.

Van de plaats en de hoogte van het maximum in de koppel-toerental-kromme hangt het af of een wervelstroomkoppeling voor een bepaalde toepassing geschikt is. Ook is het mogelijk om bij het ontwerpen van een wervelstroomkoppeling met behulp van de formules voor M_{max} en n_0 de afmetingen, bekrachtiging en materialen zo te kiezen dat de gewenste kromme wordt verkregen. Het maximum in de kromme wordt bijvoorbeeld bij een lager toerental bereikt naarmate een dikkere en beter geleidende plaat wordt gekozen.

Ook zien we dat vergroting van de spleetbreedte δ een verschuiving van het maximum naar een hoger toerental tot gevolg heeft. Tegelijkertijd is echter bij een vergroting van δ een met $\sqrt{\delta}$ evenredige vergroting van de bekrachtigingsstroom nodig om het maximumkoppel M_{max} gelijk te houden. Theoretisch is de vereiste bekrachtiging minimaal wanneer de spleetbreedte δ gelijk wordt gekozen aan de plaatdikte δ_1.

De homopolaire uitvoering

Wij zullen ons in dit artikel verder uitsluitend bezig houden met de homopolaire uitvoering van de wervelstroomkoppeling. Alvorens de gevonden resultaten hierop toe te passen, moeten wij nagaan wat de invloed

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is van de verschillen tussen het model en de werkelijke koppeling.

Allereerst veronderstelden wij bij het model een heteropolaire uitvoering, en de veldverdeling was daarbij zuiver sinusvormig. De veldverdeling van de homopolaire werkelijke koppeling kunnen we in eerste instantie opvatten als een sinusvormig veld gesuperponeerd op een veld dat langs de hele omtrek constant is. De constante veldcomponent heeft geen invloed op het gedrag van de koppeling, aangezien hierdoor tussen de beide uiteinden van de wervelstroomcilinder slechts een potentiaalverschil wordt teweeggebracht dat eveneens constant is langs de hele omtrek en waardoor geen stromen kunnen gaan lopen. Het werkelijke veld wijkt echter bovendien van het modelveld af doordat de wisselcomponent, zoals uit metingen blijkt, niet sinusvormig is maar tussen een sinusvormig en een blokvormig verloop inligt. Dit wisselende veld kunnen we opgebouwd denken uit een sinusvormig veld en hogere harmonischen, waarvan de amplitudes kunnen worden berekend met behulp van numerieke fourieranalyse. Uit onderzoek blijkt dat de invloed van de hogere harmonischen op het verloop van de koppel-toerental-kromme niet te verwaarlozen is. Ten opzichte van de koppel-toerental-kromme die behoort bij de zuiver sinusvormige veldverdeling, verschuift het maximumkoppel naar een hoger toerental, het wordt groter en de beginhelling van de kromme wordt steiler.

Een ander verschil betreft de spleetbreedte δ. Deze is in het model constant ondersteld. Bij de uitvoering van de wervelstroomkoppeling zoals wij die bekijken (zie fig. 3) wordt echter gebruik gemaakt van een inductor in de vorm van een schijf met vingers, waardoor de spleetbreedte wisselt. Om overeenstemming te krijgen tussen de koppel-toerental-kromme die bij de koppeling behoort en de theoretische kromme, moeten we een fictieve spleetbreedte δ' invoeren, die groter is dan de spleetbreedte ter plaatse van de poolvingers.

In het model veronderstelden wij verder een in de y-richting oneindig uitgebreide wervelstroomplaat en een niet van y afhankelijke stroomlaag. De wervelstromen liepen daardoor in het model ook alleen in de y-richting, dus loodrecht op de bewegingsrichting. Bij werkelijke wervelstroomkoppelingen, ook bij de homopolaire uitvoering, hebben we te maken met eindige afmetingen van de wervelstroomcilinder, waardoor wij er rekening mee moeten houden dat de wervelstromen zich aan beide uiteinden van de polen nog moeten sluiten (zie fig. 3*c*). De wervelstromen ondervinden hierdoor een extra weerstand die aanleiding geeft tot een afwijking van de werkelijke koppel-toerental-kromme ten opzichte van de theoretische. De te verwachten afwijking kan worden gevonden door schatting en door metingen aan reeds uitgevoerde wervelstroomkoppelingen [3].

Een regelbare aandrijving

Reeds hebben wij vermeld dat de homopolaire uitvoering van de wervelstroomkoppeling bijzonder geschikt is gebleken als regelbare aandrijving voor gering vermogen. Dit is niet alleen te danken aan de eenvoudige constructie, maar vooral ook aan de mogelijkheid de bekrachtigingsstroom elektronisch te regelen.

In *fig. 6* is schematisch een schakeling getekend waarin de wervelstroomkoppeling als regelbare aandrijving is toegepast. De ingaande as van de wervelstroomkoppeling K wordt gedreven door een elektromotor M met een constant toerental. Van de uitgaande as wordt het toerental n gemeten met een tachometer T die als maat voor het toerental een elektrische spanning levert. Deze spanning wordt vergeleken met een referentiespanning, die aan het gewenste toerental beantwoordt en die kan worden ingesteld met behulp van een potentiometer P. Een versterker A stuurt een met het verschil van beide spanningen evenredige stroom door de bekrachtigingsspoel van de wervelstroomkoppeling.

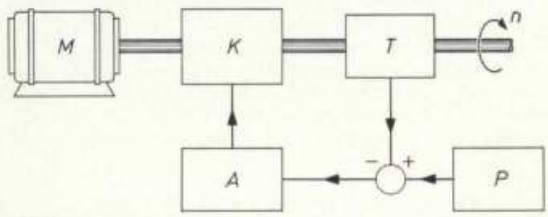

Fig. 6. Schema van een toerentalregeling met behulp van een wervelstroomkoppeling K. De ingaande as van de koppeling wordt gedreven door een motor M met constant toerental. Het toerental n van de uitgaande as wordt gemeten door de tachometer T, waarvan de uitgangsspanning wordt vergeleken met een referentiespanning die wordt ingesteld met de potentiometer P. Versterker A stuurt een met het verschil van beide spanningen evenredige stroom door de bekrachtigingsspoel van de koppeling.

Zoals heel vaak bij een regelsysteem, moet ook hier de werkelijke waarde van de geregelde grootheid, in het beschreven geval dus het toerental, lager zijn dan de gewenste, opdat de bekrachtigingsspoel van stroom wordt voorzien. Daarbij is het verschil tussen beide toerentallen lager naarmate de versterkingsfactor van de versterker groter is. De grootte van de versterkingsfactor wordt beperkt door de dynamische eigenschappen van de koppeling.

Bij Philips is al sedert enige jaren een zeer groot aan-

[1] Deze berekening vindt men reeds in: R. Rüdenberg, Energie der Wirbelströme in elektrischen Bremsen und Dynamomaschinen, Enke, Stuttgart 1906.

[2] Voor de skindiepte van het materiaal van de wervelstroomplaat geldt: $\delta_{skin} = \sqrt{\lambda/\pi\mu_0\sigma v}$.
Op deze diepte is $|\mathbf{E}| = (1/e)|\mathbf{E}_{opperv1}|$.

[3] De afwijking is exact berekend voor een situatie als in fig. 4 maar met een zowel in de x- als in de y-richting sinusvormig verlopend veld. Zie hiervoor de in [1] genoemde literatuur.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tal van de boven omschreven aandrijvingen in gebruik in allerlei typen produktiemachines; onder andere voor het opspoelen van draad en band na het walsen, trekken of lakken. Sedert kort worden zowel de wervelstroomkoppeling als de complete aandrijving in

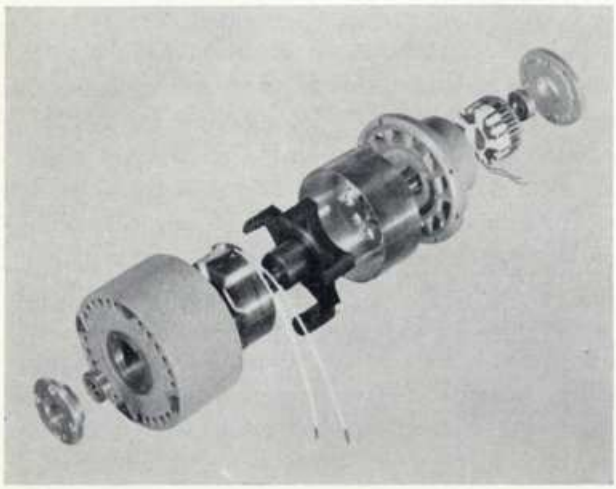

Fig. 7. Een „exploded view" van een Philips wervelstroomkoppeling. Het grote cilindervormige deel links is het stilstaande huis, dat van ferromagnetisch materiaal is gemaakt. Rechts daarvan ziet men achtereenvolgens de bekrachtigingsspoel, de inductor, die op de ingaande as is bevestigd, de koperen wervelstroomcilinder, die op de uitgaande as is bevestigd, de kap en de tachometer. Aan beide uiteinden is nog de lagering zichtbaar.

de handel gebracht [4]. *Fig. 7* toont een „exploded view" van een Philips wervelstroomkoppeling. Een tachometer die het toerental van de uitgaande as aangeeft, is in het apparaat ingebouwd.

De koppel-toerental-kromme van de regelbare aandrijving

Voor de regelbare aandrijving wensen wij dat over een zo groot mogelijk snelheidsgebied, tussen nul en het toerental van de motor, een zo groot mogelijk koppel wordt overgebracht. Eerder hebben wij gesteld dat wij de vorm van de koppel-toerental-kromme van de wervelstroomkoppeling kunnen beïnvloeden door keuze van bepaalde materialen en afmetingen. Geheel vrij in die keuze zijn wij echter niet, omdat de maximale bekrachtigingsstroom, de breedte van de luchtspleet en de wanddikte van de wervelstroomcilinder ook door andere, b.v. constructieve voorwaarden wordt bepaald. Bij een goed ontwerp zal daarom het maximum in de koppeltoerental-kromme niet altijd, zoals wij zouden kunnen veronderstellen, in het gebruikte snelheidsgebied liggen.

In *fig. 8* is de koppel-toerental-kromme getekend zoals die werd gemeten bij de Philips wervelstroomkoppeling PE 2245. In de figuur is Δn het relatief toerental van de ingaande as ten opzichte van het toerental van de uitgaande as van de koppeling. In het punt $\Delta n = 0$ is het toerental van de uitgaande as dus maximaal; in het punt $\Delta n = n_m$ (n_m is het toerental van de motor) staat de uitgaande as stil en is het verschil in toerental van de beide assen maximaal. De kromme geeft voor ieder toerental het grootste koppel aan dat aan de uitgaande as kan worden afgegeven.

Δn kan ook groter zijn dan n_m, d.w.z. het toerental van de uitgaande as kan in bepaalde gevallen ook „negatief" worden. Dit gebeurt b.v. bij servosystemen met *twee* wervelstroomkoppelingen waarvan de uitgaande assen met elkaar zijn verbonden en waarvan de ingaande assen in tegengestelde zin worden gedreven. Ten opzichte van de in het artikel beschreven aandrijving heeft een aldus samengestelde servomotor het voordeel dat het toerental in *twee* rotatierichtingen regelbaar is.

Een dergelijk systeem is toegepast bij de aandrijving van de radiotelescopen in Dwingeloo en in Malvern (Engeland) — een toepassing waarbij vooral het bijzonder constante koppel van de wervelstroomkoppeling bij lage toerentallen van belang is. Ten opzichte van andere typen servomotoren weegt hier ook zwaar het reeds genoemde voordeel van de wervelstroomkoppeling dat het nodige stuurvermogen bijzonder gering is.

Het vermogen dat door de uitgaande as wordt geleverd, is gelijk aan het produkt van het koppel en het toerental van de as. Behalve dit nuttige vermogen is er ook een vermogen dat in de wervelstroomcilinder in warmte wordt omgezet: dit is gelijk aan het produkt van het koppel en het verschil in toerental van ingaande en uitgaande as. Deze warmte wordt in hoofdzaak afgevoerd via de lucht, en wel door de ventilatorwerking van de inductor. De overdracht van de warmte aan de

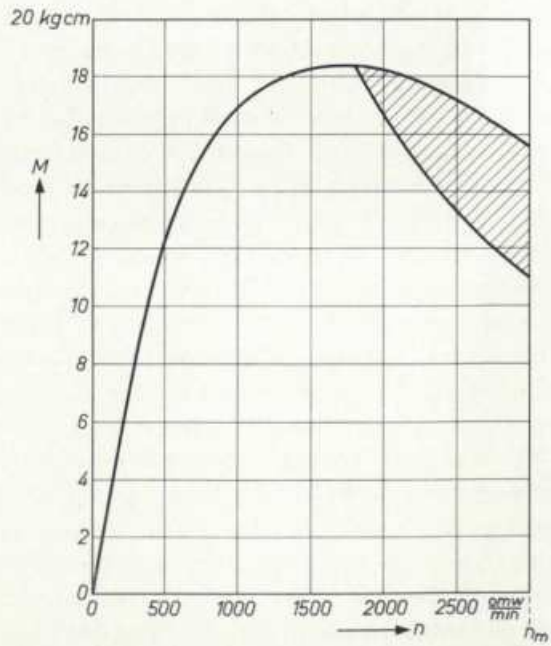

Fig. 8. De gemeten koppel-toerental-kromme van een Philips wervelstroomkoppeling PE 2245. In het gearceerde gebied is geen continu gebruik van de koppeling mogelijk, daar de temperatuur, met name van de lagering, dan de maximaal toelaatbare waarde zal overschrijden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lucht wordt hierbij bevorderd doordat de poolvingers van de inductor de lucht vlak bij de wervelstroomcilinder in sterke beroering brengen. Ondanks deze goede warmteafvoer is het mogelijk dat bij lage toerentallen van de uitgaande as en bij het leveren van grote koppels zoveel warmte in de wervelstroomcilinder wordt geproduceerd dat de temperatuur van de aandrijving op diverse plaatsen, met name in de lagering, hoger wordt dan toelaatbaar is.

Dit is het geval in het gearceerde gebied binnen de kromme in fig. 8. Bij continu gebruik van de koppeling in dit gebied zal de temperatuur de maximaal toelaatbare waarde overschrijden.

Toepassingsmogelijkheden van de regelbare aandrijving

Als voorbeeld hebben we de aandrijving met regelbaar toerental reeds beschreven. We noemen nog enkele andere toepassingsmogelijkheden.

Bij het drijven van een spoel waar draad (of band) opgewikkeld wordt, wil men gewoonlijk niet het toerental van de spoel maar de snelheid van de draad constant houden. In plaats van een tachometer op de uitgaande as van de wervelstroomkoppeling kunnen we in dit geval een tachometer gebruiken die direct door de draad wordt gedreven.

De snelheid van de draad kan ook constant worden gehouden door de diameter van de opwikkelspoel te meten. Hiertoe bevestigt men aan de potentiometer waarmee de referentiespanning wordt ingesteld een arm, die rust op de draad die op de spoel is gewikkeld. Wordt de spoel dikker, dan wordt de potentiometer door de arm zo verdraaid dat de hoeksnelheid van de spoel kleiner wordt, zodanig dat de draadsnelheid gelijk blijft.

Nog een andere mogelijkheid is, niet de opwikkelspoel te drijven maar de draad zelf. In *fig. 9* is een demonstratie-opstelling met twee wervelstroomkoppelingen afgebeeld (de wervelstroomkoppelingen zijn hier bevestigd aan de frontplaat van de bijbehorende elektromotoren), waarmee een draad met zowel een constante snelheid als een constante draadspanning op een spoel wordt gewikkeld. De draad wordt daartoe enige malen om trommel *2* geslagen die door wervelstroomkoppeling *1* met een constant toerental wordt gedreven. De wervelstroomkoppeling *6* drijft de opwikkelspoel *5*, en wel zodanig dat de trekkracht in de draad steeds dezelfde blijft. Om dit te bereiken, loopt de draad via een dynamometermechanisme *4* en *7* waarvan de geleverde elektrische spanning wordt vergeleken met een referentiespanning.

Behalve het toerental van een as, de snelheid van een draad en de trekkracht in de draad kunnen ook nog andere grootheden worden geregeld, b.v. het koppel op een stilstaande as. Voorwaarde is slechts dat de te regelen grootheid kan worden omgezet in een elektrische spanning, die kan worden vergeleken met de referentiespanning in de regelversterker. Daarmee openen zich wijde perspectieven voor het toepassen van regelbare aandrijvingen op het gebied van de „procesbeheersing", omdat bij vele processen de gewenste eigenschappen elektrisch te meten zijn en vaak een belangrijke procesgrootheid wordt beheerst door een toerental of een snelheid.

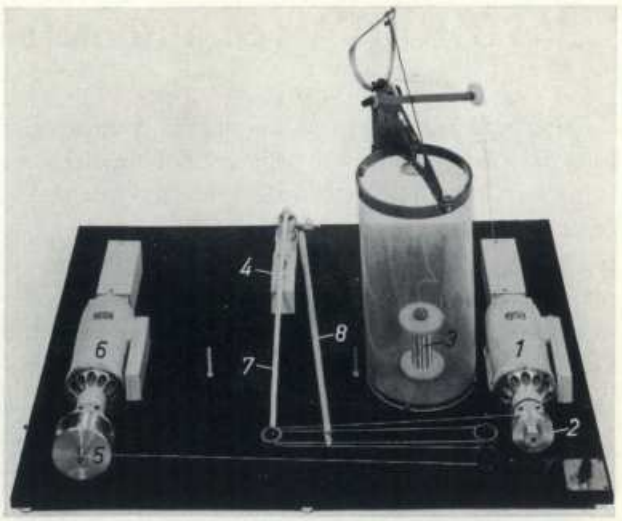

Fig. 9. Demonstratie-opstelling met twee wervelstroomkoppelingen. Wervelstroomkoppeling *1* drijft trommel *2* met een constant toerental, waardoor de draad met een constante snelheid wordt afgewikkeld van spoel *3*. Van de trommel loopt de draad via een dynamometermechanisme *4* naar de opwikkelspoel *5*, die wordt gedreven door wervelstroomkoppeling *6*. De draad is met behulp van een aantal rollen zo geleid dat de arm *7* van de dynamometer in één richting wordt getrokken. Een veer houdt de arm in evenwicht.

[4] De elektronisch geregelde wervelstroomkoppeling werd voor intern gebruik ontwikkeld op de afdeling Bedrijfsmechanisatie van de Hoofdindustriegroep Radio-, Grammofoon- en Televisieapparaten. De verdere ontwikkeling en de produktie zijn ter hand genomen door de Hoofdindustriegroep Produkten voor Industriële Toepassing.

Samenvatting. Met behulp van een vereenvoudigd model van de (heteropolaire) wervelstroomkoppeling wordt het verband afgeleid tussen het overgebrachte koppel en het relatieve toerental van de ingaande as ten opzichte van de uitgaande as van de koppeling. Dit verband is ook geldig voor een homopolaire uitvoering van de wervelstroomkoppeling. Deze homopolaire wervelstroomkoppeling, die constructief bijzonder eenvoudig is doordat de bekrachtigingsspoel stil kan staan, wordt in toenemende mate toegepast voor regelbare aandrijvingen met gering vermogen. Van belang is daarbij dat de bekrachtigingsstroom elektronisch kan worden geregeld, waardoor met behulp van een eenvoudige schakeling een toerental, een snelheid of een koppel gelijk kan worden gehouden aan een gewenste waarde.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

„PAILRED", een automatische monokristal-diffractometer

548.735

De experimentele gegevens, nodig om de rangschikking der atomen in een kristallijne stof te bepalen, verkrijgt men in het algemeen door een kristal van de desbetreffende stof in een röntgenbundel te plaatsen en de intensiteit en richting van alle gereflecteerde bundels te meten die bij rotatie van het kristal optreden. Het aantal reflexies kan, naar gelang van de gecompliceerdheid van de structuur, enkele tientallen tot vele tienduizenden bedragen. Voor de verwerking van de talrijke gegevens bij de uitvoering van de analyse maakt de kristallograaf tegenwoordig meestal gebruik van een elektronische rekenmachine [1].

Tot voor kort deed men de genoemde metingen allerwegen met behulp van fotografische methodes. Het meten van plaats en intensiteit van elke reflexiestip op een fotografische film is echter een geestdodende en zeer tijdrovende bezigheid. Bovendien is de nauwkeurigheid meestal gering.

In het Philipslaboratorium te Briarcliff Manor, U.S.A. [2], is nu door J. Ladell en P. G. Cath een apparaat ontworpen en geconstrueerd waarmee de gegevens voor een kristalstructuuranalyse aanzienlijk sneller, geriefelijker en nauwkeuriger kunnen worden verkregen. Dit apparaat wordt aangeduid met de naam PAILRED (Philips Automatic Indexing Linear Reciprocal-space Exploring Diffractometer). Een voorlopige versie ervan werd in september 1963 op het 6e Congres van de Internationale Unie voor Kristallografie te Rome gedemonstreerd en is sedert medio 1964 in het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven in gebruik (*fig. 1*). Binnenkort zal het in een enigszins gewijzigde uitvoering op de markt komen.

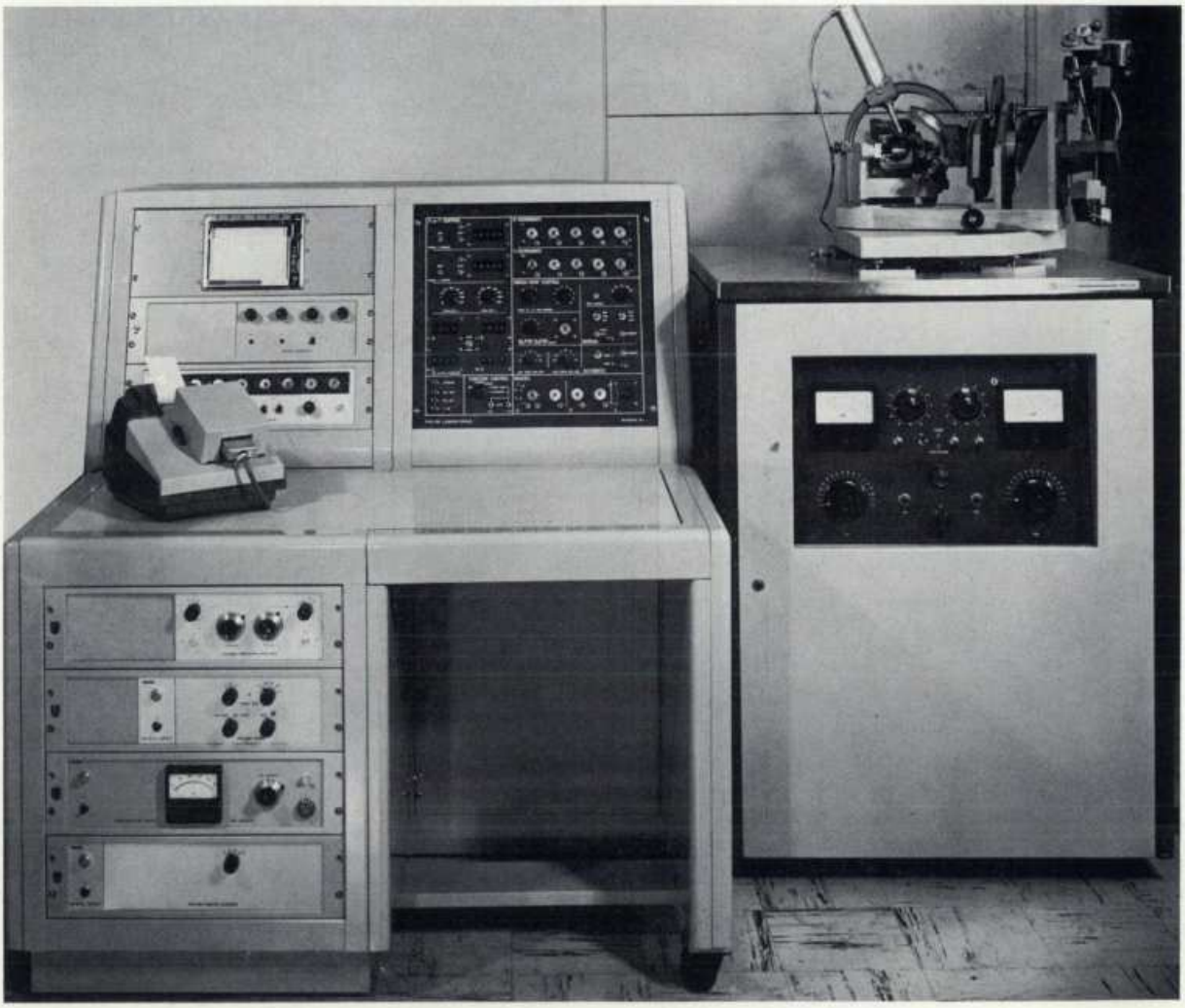

Fig. 1. De volledige PAILRED-apparatuur. Rechts de röntgengenerator met daarop geplaatst de goniometer. In de lessenaartafel links bevinden zich de elektronische schakelingen voor het besturen van de goniometer en voor het vastleggen van de meetresultaten in een tabel, in een grafiek en op ponsband.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

We willen hier een zeer summiere beschrijving van dit belangrijke instrument geven. Te zijner tijd zal het in een uitvoerig artikel in dit tijdschrift nader worden behandeld.

Het te onderzoeken kristal wordt in het centrum van een goniometer gemonteerd op een draaitafeltje dat op zijn beurt langs een grote boog, de zg. wieg van Euler, verplaatsbaar is (*fig. 2*). Door deze twee rotaties kan men een binnen ruime grenzen te kiezen kristalrichting doen samenvallen met de horizontale as van het instrument (ω-as). De op het kristal vallende röntgenbundel is door reflexie tegen een vlak hulpkristal monochromatisch gemaakt. Hierdoor wordt de stralingsondergrond, waartegen de reflexiepieken afsteken, zeer sterk gereduceerd. De gereflecteerde straling wordt gemeten met behulp van een scintillatieteller. De resultaten worden zowel in grafiek gebracht als in decimale getallen in een tabel afgedrukt, en bovendien geponst in achtgaats-ponsband. Deze laatste kan rechtstreeks worden verwerkt door een elektronische rekenmachine.

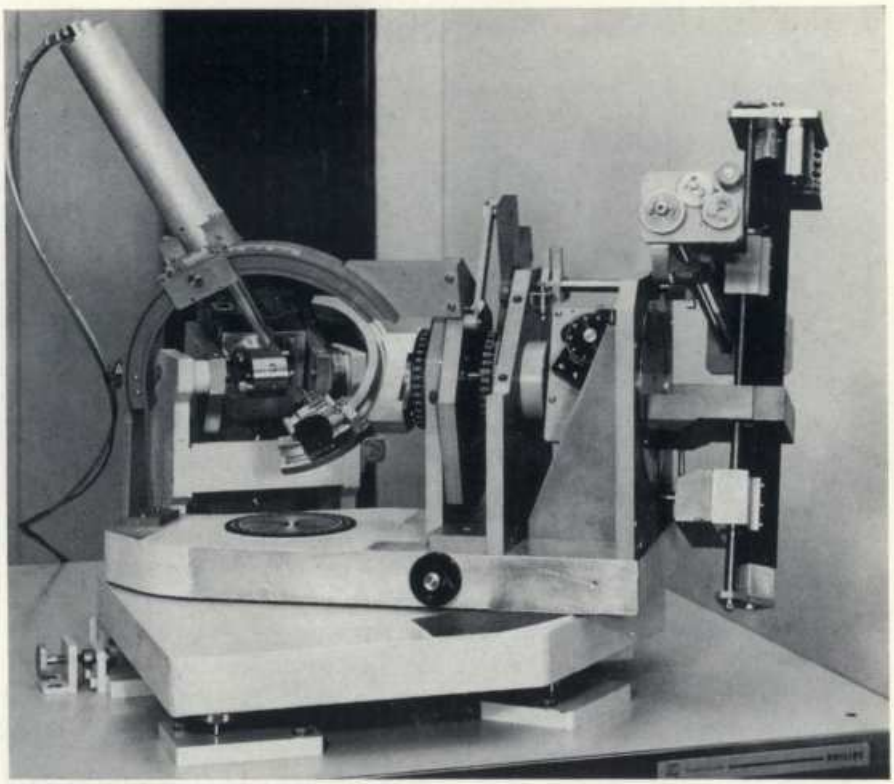

Fig. 2. De goniometer. Linksboven de scintillatieteller, gemonteerd op een boog en gericht op het te onderzoeken kristal. In het midden de wieg van Euler, waarop de draaitafel met het kristal is gemonteerd. Daarachter bevindt zich de stralingsbron. Geheel rechts het *X-Y*-assenkruis.

Het kristal en de scintillatieteller zijn gekoppeld aan een rechthoekig assenkruis (rechts in fig. 2), waarvan de schroefdraadassen, *X* en *Y*, worden gedreven door twee stapmotoren. De constructie is zodanig dat telkens een *constant* aantal stappen nodig is om kristal en teller van de ene reflexiestand naar de volgende te brengen. Hiervan is gebruik gemaakt om de metingen te *automatiseren*. Op het bedieningspaneel dat men midden op fig. 1 ziet en waarachter zich een uitgebreid systeem van logicaschakelingen bevindt, stelt men het vereiste (vooraf berekende) aantal x-stappen en y-stappen in, waarna het instrument achtereenvolgens alle bij de gekozen instelling bereikbare reflexies aftast. Bij een reflexiestand aangekomen, blijft telkens de teller stilstaan terwijl een derde stapmotor het kristal langzaam over een kleine hoek om de ω-as draait, zodat het door de reflexiestand heenloopt. Op deze wijze verkrijgt men de „geïntegreerde intensiteit" van iedere reflexie. Deze wordt als meetresultaat op de genoemde drie manieren geregistreerd, te zamen met de stralingsondergrond, die in de buurt van elke reflexie automatisch wordt gemeten, en de reflexie-indices *hkl*, die de numerieke aanduiding vormen voor de richting van afbuiging der gemeten röntgenstraling.

Aldus wordt het x-y-vlak automatisch doorlopen. Daarentegen moet men de instelling in de derde richting, d.i. een rotatie om de verticale as van het instrument, met de hand tot stand brengen. Dit behoeft men echter slechts een gering aantal malen te doen en met grote tussenpozen; het vergt bovendien weinig tijd. Om de gedachten te bepalen: één maal per dag een kwartier.

De PAILRED kan zonder toezicht dag en nacht doorwerken. De meetsnelheid hangt af van de gewenste nauwkeurigheid: maximaal kan men omstreeks 60 reflexies per uur verwerken, gewoonlijk zal men er ongeveer 10 per uur meten. De toevallige fout in de gemeten intensiteit van sterke reflexies bedraagt ca. 2%, die van zwakke reflexies wordt op de bekende wijze door de telstatistiek bepaald. Bij de tot dusverre verrichte structuurbepalingen is dienovereenkomstig een uitstekende overeenstemming tussen berekende en gemeten intensiteiten gevonden.

A. H. Gomes de Mesquita

[1] Voor de principes van de kristalstructuurbepaling zij verwezen naar P. B. Braun en A. J. van Bommel, Philips techn. T. **22**, 135-146, 1960.

[2] Tot voor kort was dit laboratorium gevestigd in Irvington-on-Hudson.

Dr. A. H. Gomes de Mesquita is medewerker van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Stereofonische radio-omroep

II. Gevoeligheid voor storingen

N. van Hurck, F. L. H. M. Stumpers en M. Weeda

534.76:621.396:621.391.82

In deel II van dit artikel wordt een aspect van stereofonische signaaloverbrenging behandeld dat in deel I niet ter sprake kwam, nl. het feit dat stereofonische ontvangers gevoeliger zijn voor storingen dan mono-ontvangers. Van hieromtrent verrichte, deels theoretische en deels experimentele, onderzoekingen worden de resultaten vermeld.

Bij de besproken systemen voor stereofonische radio-omroep [1] bevat het signaal waarmee de uitgezonden draaggolf wordt gemoduleerd, componenten met frequenties die hoger zijn dan de hoogste hoorbare geluidsfrequenties. Bij het meer in het bijzonder behandelde F.C.C.-systeem bestaan deze componenten uit het stereohulpsignaal en het pilootsignaal. In de ontvanger vormt de adaptor hieruit een signaal met een hoorbare frequentie, het verschilsignaal. Door dit proces kunnen bij ontvangst van een stereoprogramma storingen worden geïntroduceerd waarvan men bij mono-ontvangst niets merkt.

In het nu volgende tweede deel van dit artikel zullen wij, na een algemene inleiding over verschillende soorten radiostoringen, dit aspect van de stereofonische radio-omroep nader beschouwen.

Verschillende soorten radiostoringen

Ongewenste signalen die bij de radio-ontvangst storend werken, kunnen verschillende oorzaken hebben, en afhankelijk hiervan vertoont de ondervonden hinder een verschillend karakter.

Een der storingsvormen is de *ruis*, die zowel door de antenne kan worden ontvangen (kosmische ruis), als in de antenne en de ontvanger kan worden opgewekt [2]. De eenvoudigste vorm van ruis is de zg. „witte ruis", die men kan opvatten als de superpositie van een zeer groot aantal trillingscomponenten, waarbij het vermogen van de gezamenlijke componenten in een frequentiebandje ter breedte van 1 Hz overal in het spectrum even groot is. In de praktijk is men meestal slechts geïnteresseerd in een beperkt frequentiegebied, waarin de ruis met voldoende benadering als „wit" kan worden beschouwd.

Van een geheel ander karakter is de storing die wordt veroorzaakt door allerlei elektrische apparaten („man-made static"), zoals elektromotoren, ontstekingsinrichtingen van verbrandingsmotoren en schakelaars van thermostaten (b.v. in strijkijzers). Deze storingen, die zich veelal voordoen als een opeenvolging van korte elektrische impulsen, zijn uiteraard het sterkst in dichtbevolkte streken. In vele gevallen is deze storingsvorm daar veel hinderlijker dan de ruis.

Een derde vorm van storing kan worden veroorzaakt door andere zenders dan die waarop het toestel is afgestemd. Deze storing wordt vaak anders ondervonden dan de beide eerder genoemde vormen. Terwijl ruis en impulsstoringen zich uiten als een sissend of knetterend geluid, kan bij storing door een niet-gewenste zender ook het programma van deze zender vervormd hoorbaar worden.

Een vorm van storing die bij frequentiemodulatie een grotere rol speelt dan bij amplitudemodulatie, ontstaat wanneer de van de zender afkomstige signalen langs verschillende wegen met ongelijke lengte de ontvanger bereiken [3]. Dit verschijnsel kan optreden in bergachtige streken ten gevolge van reflexies tegen bergruggen, doch ook op andere plaatsen kunnen hoge gebouwen en derg. dit soort storing veroorzaken.

In het hierna volgende zullen wij vergelijkingen treffen tussen de hinder die van de verschillende storingsvormen wordt ondervonden bij stereo- en bij mono-ontvangst, en in het laatste geval zowel wanneer de ontvangst een mono-uitzending betreft als wanneer een mono-ontvanger op een stereo-uitzending is afgestemd.

De weergave van een radioprogramma kan ook onderhevig zijn aan storingen die niet worden veroorzaakt door hoogfrequente elektrische trillingen. Zo kan het audiofrequente signaal dat aan

N. van Hurck, dr. F. L. H. M. Stumpers en ir. M. Weeda zijn medewerkers van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven. Dr. Stumpers heeft in 1962, 1963 en 1965 deelgenomen aan besprekingen over stereofonie in C.C.I.R.- en E.B.U.-verband.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de zender wordt toegevoerd, reeds ruis bevatten, afkomstig van microfoon, grammofoon of bandopnemer. Ook is het mogelijk dat impulsstoringen op een andere wijze dan via de antenne in een ontvanger doordringen. Verder kan soms in een ontvanger een storende spanning met een frequentie van 50 of 100 Hz (brom) ontstaan, b.v. door onvoldoende afvlakking van voedingsspanningen of door inductie op koppelleidingen. Dergelijke storingen werken vaak verwarrend bij het bestuderen van de storingen die in de eigenlijke radioverbinding ontstaan. Bij de experimenten die wij hier op het oog hebben, dient men zich er dus altijd van te vergewissen dat de waargenomen storing inderdaad in de radioverbinding ontstaat. Meestal is dit op vrij eenvoudige wijze vast te stellen.

Ruis

Wanneer men een stereofonisch uitgezonden programma beluistert met een *mono-ontvanger*, is het ruisniveau iets hoger dan dat wat optreedt bij een mono-uitzending. Het verschil is echter zo gering dat men hiervan vrijwel nooit iets merkt. Het hangt samen met het feit dat bij frequentiemodulatie de signaal-ruisverhouding evenredig is met het kwadraat van de maximale frequentiezwaai [4]. Bij het F.C.C.-systeem mag de frequentiezwaai van het somsignaal ten hoogste 90% bedragen van de maximaal toegelaten zwaai. Dientengevolge ontvangt een mono-ontvanger die is afgestemd op een stereo-uitzending een signaal met een frequentiezwaai die 10% kleiner is dan die welke men bij een overeenkomstige mono-uitzending zou toepassen. De hierdoor veroorzaakte verkleining van de signaal-ruisverhouding bedraagt 0,9 dB.

Bij het ontvangen van een stereoprogramma met een *stereo-ontvanger* kan een aanmerkelijk hoger ruisniveau optreden. De voornaamste oorzaak hiervan werd in de inleiding reeds aangestipt: achter de FM-detector aanwezige storingen die liggen in het frequentiegebied van het stereohulpsignaal, geven in een mono-ontvanger geen hoorbare bijdrage tot het ruisniveau; bij stereo-ontvangst is dit echter wèl het geval, doordat uit het stereohulpsignaal het audiofrequente verschilsignaal wordt gevormd en hierbij tevens de desbetreffende storingscomponenten in een hoorbaar signaal worden omgezet. Bijzonder ongunstig werkt in dit opzicht het feit dat bij frequentiemodulatie een sterkere storing achter de detector wordt veroorzaakt naarmate de frequentie van de gedetecteerde storende spanning hoger is [4]. Storingen die in het frequentiegebied van het stereohulpsignaal liggen, zullen dan ook gemiddeld sterker merkbaar worden dan storingen in het gebied van het somsignaal, waardoor het verschilsignaal sterker gestoord wordt dan het somsignaal.

Zowel langs mathematische als langs experimentele weg is de verhoging van het ruisniveau die bij overgang van mono- op stereo-ontvangst ontstaat, bepaald.

De formule voor de signaal-ruisverhouding bij ontvangst van een mono-uitzending luidt:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_M = \frac{1}{2}\,\frac{v_c^2}{n_0^2}\,\frac{\Delta f_m^2}{f_d^3\left(\frac{f_a}{f_d} - \operatorname{arc\,tg}\frac{f_a}{f_d}\right)}, \quad \ldots \quad (1)$$

terwijl bij stereo-ontvangst de signaal-ruisverhouding voor rechter- en linkersignaal is gegeven door [5]:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_S = \frac{0{,}81}{4}\,\frac{v_c^2}{n_0^2}\,\frac{\Delta f_m^2}{f_d^3\left[\frac{3}{2}\frac{f_a}{f_d} + \left(\frac{f_h^2}{f_d^2} - \frac{3}{2}\right)\operatorname{arc\,tg}\frac{f_a}{f_d}\right]}. \quad \ldots \quad (2)$$

Hierbij is aangenomen dat in beide gevallen een signaal wordt ontvangen waarvan de frequentiezwaai gelijk is aan de maximaal toegelaten waarde, die met Δf_m is aangegeven. De andere in de formules voorkomende grootheden zijn:

v_c = de effectieve waarde van de middenfrequente signaalspanning aan de ingang van de begrenzer.

n_0 = de effectieve waarde van de ruisspanning in een frequentiebandje van 1 Hz op dezelfde plaats.

f_d = de frequentie waarvoor de verzwakking die de audiofrequente signalen door het de-emphasisnetwerk ondergaan, 3 dB is. In Europa is voor f_d een waarde van 3,180 kHz vastgesteld.

f_h = de frequentie van de hulpdraaggolf (38 kHz).

f_a = de bandbreedte van de audiofrequente signalen (15 kHz).

Vullen we in de formules (1) en (2) de genoemde waarden van f_d, f_h en f_a in, dan vinden we dat $(S/N)_S$ rond 150 maal kleiner is dan $(S/N)_M$. Dit betekent dat voor een zelfde sterkte van het signaal en de ruis aan de ingang van de begrenzer de signaal-ruisverhouding bij stereo-ontvangst 22 dB kleiner is dan bij mono-ontvangst van een monozender. (Dit verschil is uiteraard alleen dan hoorbaar wanneer het signaal van de desbetreffende zender zo zwak is dat bij mono-ontvangst reeds ruis hoorbaar is.)

De formules (1) en (2) gelden uitsluitend voor het elektronische gedeelte van het probleem; de signaal-ruisverhouding is hierin vastgelegd als de verhouding van de vermogens van signaal en ruis, waarbij voor wat de ruis betreft, alle componenten met frequenties binnen het hoorbare gebied gelijk zijn gewaardeerd. Bij de beoordeling van de ruis speelt echter ook het

[1] N. van Hurck, F. L. H. M. Stumpers en M. Weeda, Stereofonische radio-omroep, I. Systemen en schakelingen, Philips techn. T. **26**, 69-82, 1964/65 (no. 3).

[2] Zie voor een kwalitatief overzicht K. S. Knol, Ruis, Philips techn. T. **20**, 29-37, 1958.

[3] Zie J. Koster, Verschijnselen bij FM-ontvangst langs verschillende wegen tegelijk, en het nabootsen ervan in het laboratorium, Philips techn. T. **22**, 374-384, 1960.

[4] Zie b.v. C. E. Tibbs en G. G. Johnstone, Frequency modulation engineering, Chapman and Hall, Londen 1956, of Stanford Goldman, Frequency analysis, modulation and noise, McGraw Hill, New York 1948.

[5] Voor een afleiding van de formules, zie W. P. Neidig, Stereo FM (1), R.G.T. Monitor (Philips) **4**, 29-38, 1964 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

menselijk oor een rol: storende geluiden van gelijke sterkte maar met verschillende frequenties worden niet als even hinderlijk ondervonden. Men brengt dit bij metingen vaak in rekening door vóór de meter een filter te plaatsen („psofometerfilter") met een frequentiekarakteristiek zoals in *fig. 1* is weergegeven [6]. Gebruikt men deze kromme bij de berekening van het totale vermogen van de ruis, dan vindt men dat bij stereo-ontvangst de signaal-ruisverhouding 23 dB kleiner is dan bij mono-ontvangst. De uitkomst wijkt dus weinig af van die welke men bij een gelijke waardering van alle geluidsfrequenties vindt.

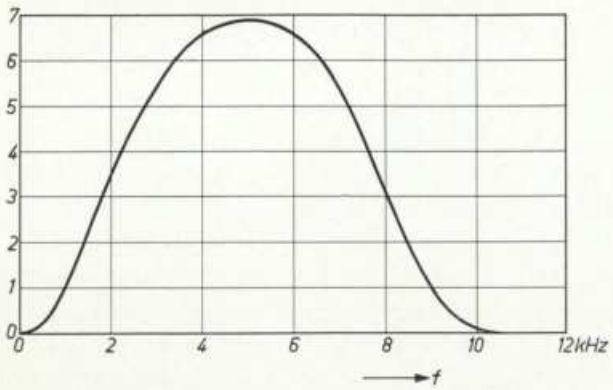

Fig. 1. Frequentiekarakteristiek van een „psofometerfilter", dat wordt gebruikt om bij metingen de verschillen in hinderlijkheid van storende geluiden met een zelfde sterkte en verschillende frequenties na te bootsen.

Formule (2) houdt, voor zover het de storing van het verschilsignaal betreft, alleen rekening met de ruiscomponenten waarvan de frequenties in het gebied van het stereohulpsignaal (23-53 kHz) liggen. Ook signalen met hogere frequenties dan 53 kHz kunnen echter in de AM-detector voor het stereohulpsignaal een hoorbare storing doen ontstaan. Zo ontstaat bij een normale *topdetector* waaraan men een draaggolf met een frequentie van f kHz toevoert, niet alleen een hoorbare storing ten gevolge van ruiscomponenten met frequenties die liggen tussen $f-15$ en $f+15$ kHz, doch ook door componenten met frequenties tussen $2f-15$ en $2f+15$ kHz, $3f-15$ en $3f+15$ kHz, enz. [7]. Bij een *schakeldetector* treedt dit verschijnsel in mindere mate op: ruiscomponenten rond een frequentie $2f$ veroorzaken hierbij geen hoorbare storing, terwijl die rond een frequentie $3f$ een storing doen ontstaan waarvan het vermogen slechts 1/9 is van dat wat bij een topdetector zou optreden.

Het eenvoudigste middel om de toeneming van de ruis die hierdoor ontstaat te vermijden, bestaat in het gebruik van een schakeling waarbij wisselspanningen met frequenties hoger dan 53 kHz niet kunnen doordringen tot de AM-detector voor het stereohulpsignaal. In dit verband wijzen wij op de adaptorschakeling die in het eerste deel van dit artikel werd gegeven (blz. 80, fig. 15), waar het stereohulpsignaal via de L-C-kring K_2 de detector bereikt, alsmede op de filters Fi_2 in de blokschema's van fig. 11 en fig. 14 in het eerste deel.

Met behulp van de formules (1) en (2) is ook de grootte van het *antennesignaal* te berekenen dat nodig is om een goede signaal-ruisverhouding te verkrijgen. Bij het maximale uitgangsvermogen wordt een waarde van 50 dB hiervoor doorgaans als goed beschouwd. Nemen we aan dat de ruisfactor [8] van de ontvanger 3,5 is, dat een dipoolantenne wordt gebruikt met een ruistemperatuur van 1200 °K [9], en dat de bandbreedte van de middenfrequentversterker 180 kHz is, dan blijkt dat voor het verkrijgen van de bovenvermelde signaal-ruisverhouding van 50 dB bij ontvangst van een monoprogramma een veldsterkte van 5 μV/m, en bij stereo-ontvangst een veldsterkte van 70 μV/m nodig is.

Bij het beoordelen van deze cijfers dient men er rekening mee te houden dat de genoemde veldsterkten veel kleiner zijn dan die welke normaal in het verzorgingsgebied van een zender optreden. Men streeft er nl. naar om in dit gebied de veldsterkte ten minste 1 mV/m te doen zijn. Hierdoor is bij gebruik van een normale ontvangantenne de uit de radioverbinding voortkomende ruis meestal veel zwakker dan het altijd aanwezige achtergrondgeruis. Men neemt dan bij overgang van mono- op stereo-ontvangst ook geen verhoging van het ruisniveau waar. Voor ver verwijderde zenders kan echter de veldsterkte veel kleiner zijn. Hierbij wordt dus, bij overgang van mono- op stereo-ontvangst, wèl een verhoging van het ruisniveau waargenomen.

Impulsstoringen

De aard van de impulsstoringen is sterk afhankelijk van de soort elektrische machines of apparaten die de storingen veroorzaken, en van de toestand waarin deze zich bevinden. Om deze reden is het niet mogelijk hiervoor exacte, algemeen geldende cijfers te geven; het hieronder genoemde dient men dan ook als een gemiddelde waarde op te vatten.

Uit experimenten is gebleken dat voor een zelfde hinderlijkheid van de storing aan de uitgang van de ontvanger de veldsterkte van de ontvangen zender bij stereo-ontvangst ongeveer 14 dB groter moet zijn dan bij mono-ontvangst.

De desbetreffende meting is uitgevoerd volgens een voorschrift van de Europese Radio-Unie. Hierbij wordt op de ontvanger een signaalgenerator aangesloten, die met een monosignaal is gemoduleerd en die een spanning levert gelijk aan die welke bij een veldsterkte van 250 μV/m aan de klemmen van een dipoolantenne zou ontstaan. Er worden dan storende impulsen toegevoerd die 3 dB sterker zijn dan die welke bij mono-ontvangst een juist waarneembare storing veroorzaken. Daarna gaat men over op stereo-ontvangst en maakt men, bij dezelfde sterkte van de storende impulsen, het zendersignaal zoveel sterker dat een zelfde (subjectief beoordeelde) storing ontstaat.

Houdt men het genoemde getal aan, dan zal dus voor een zelfde mate van hinderlijkheid van impulsstoringen een stereozender ter plaatse van de ontvanger een vijf maal zo grote veldsterkte moeten veroorzaken als een monozender. Omgekeerd kan men ook zeggen dat de straal van het verzorgingsgebied van een zender die een stereoprogramma uitzendt, kleiner is dan die van een even sterke monozender. Neemt men

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aan dat, met het oog op impulsstoringen, voor goede ontvangst van een monozender een veldsterkte van 250 μV/m nodig is (dus bij het ontvangen van een stereozender 1250 μV/m), dan volgt uit door de C.C.I.R. gepubliceerde grafieken dat het verzorgingsgebied van een zender met een effectief uitgestraald vermogen van 100 kW en een antennehoogte van 200 m bij mono-ontvangst een straal heeft van ongeveer 95 km en dat bij stereo-ontvangst deze straal 50 km is [10].

Storing door andere zenders

Ook omtrent de storing die wordt ondervonden van andere zenders dan de gewenste is het zeer moeilijk exacte gegevens te verstrekken, daar ook hierbij een groot aantal factoren een rol spelen die moeilijk of in het geheel niet in cijfers zijn vast te leggen. Wij noemen in dit verband het programma van de gewenste en de storende zender en de beoordeling van de storing door de luisteraar. Hierdoor krijgt men in de verschillende laboratoria waar hieromtrent onderzoekingen worden gedaan, uitkomsten die onderling vrij sterk verschillen, zelfs wanneer voor de beoordeling gelijke programma's worden gebruikt. Ter oriëntatie zijn in *fig. 2* de resultaten weergegeven van een experiment dat is uitgevoerd met een in ons laboratorium gebouwde ontvanger en adaptor. Hierbij was de veldsterkte van de gewenste zender 1 mV/m en waren de gewenste en de ongewenste zender gemoduleerd met bepaalde hiervoor door het „Institut für Rundfunktechnik" in Hamburg samengestelde en door de E.B.U. voor deze proeven aanbevolen programma's. Het storende signaal werd zo sterk gemaakt dat de storing juist hoorbaar was. Uitgezet is de verhouding van de sterkte van het storende signaal tot die van het gewenste signaal als functie van het verschil der centrale frequenties. De kromme *M* geldt voor mono-ontvangst, de kromme *S* voor stereo-ontvangst.

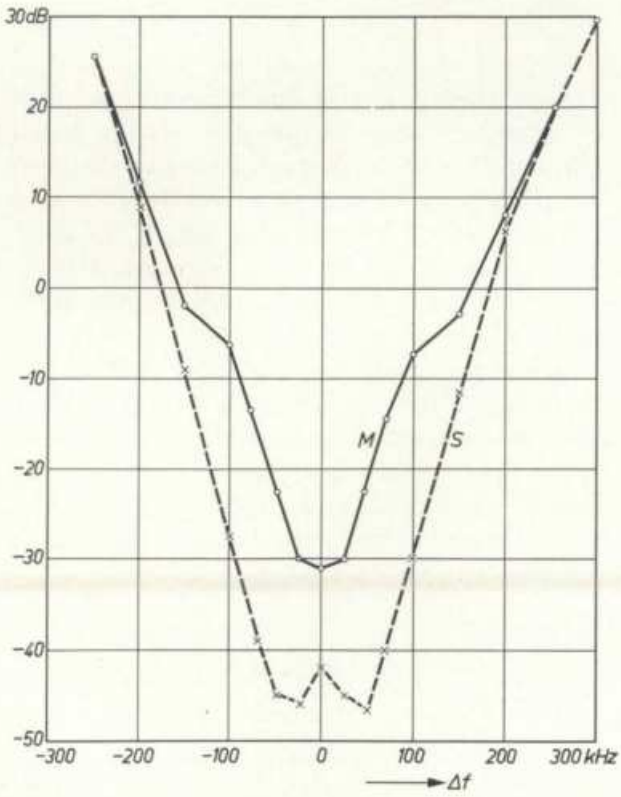

Fig. 2. De verhouding van de sterkte van een storend signaal waarbij een juist waarneembare storing optreedt, tot die van het gewenste signaal, als functie van het frequentieverschil Δf tussen de gewenste en de storende zender. De kromme *M* geldt voor mono-ontvangst en de kromme *S* voor stereo-ontvangst.

Uit fig. 2 blijkt dat men bij stereo-ontvangst eerder last van storing door een in frequentie naburige zender heeft dan bij mono-ontvangst. Hebben de gewenste en de ongewenste zender dezelfde frequentie, dan kan, om een juist waarneembare storing te veroorzaken, bij mono-ontvangst een storend signaal toegelaten worden dat 11 dB sterker is dan bij stereo-ontvangst. Bestaat tussen de centrale frequenties van de zenders een verschil van resp. 100 en 200 kHz, dan bedraagt de verhouding van het toelaatbare storende signaal bij mono- en stereo-ontvangst resp. ongeveer 23 en 2 dB.

Bij de beoordeling van de in fig. 2 weergegeven resultaten dient men er rekening mede te houden dat bij het gebruik van de bovenvermelde programma's de meest ongunstige toestand wordt nagebootst die kan voorkomen (grote frequentiezwaai van de storende zender en veel zachte passages in het programma van de gewenste zender), en bovendien dat bij de proeven zeer kritisch is geluisterd naar het al of niet waarneembaar zijn van storing. In de meeste gevallen kan dan ook het storende signaal wel wat sterker zijn dan uit fig. 2 volgt zonder dat de gemiddelde luisteraar de storing waarneemt.

---

[6] Zie C.C.I.T.T. Avis P53B: Psophomètre utilisé sur les circuits pour transmissions radiophoniques, Livre rouge, Tome V (IIe Assemblée plénière, New Delhi, 1960), blz. 131-133.

[7] Dat deze eigenschap van detectoren tamelijk onbekend is, komt waarschijnlijk door het feit dat in een normaal radio-ontvangtoestel het middenfrequentgedeelte alleen signalen in een frequentieband nabij de middenfrequentie doorlaat; signaal- of storingscomponenten met frequenties nabij hogere harmonischen van de middenfrequentie komen dus hierbij aan de detector niet voor.

[8] De ruisfactor van een toestel is een maat voor de bijdrage die het toestel zelf levert tot de ruis aan de uitgangsklemmen ervan. Zie voor de definitie van deze factor: F. L. H. M. Stumpers en N. van Hurck, Een automatische indicator van de ruisfactor, Philips techn. T. **18**, 122-125, 1956.

[9] Dit betekent dat de antenne een kosmische ruis ontvangt die overeenkomt met de ruis van een weerstand die gelijk is aan de stralingsweerstand en waarvan de temperatuur 1200 °K is. Deze waarde is niet constant. Volgens metingen van H. V. Cottony en J. R. Johler (Proc. I.R.E. **40**, 1053-1060, 1952) varieert de ontvangen ruis met een periode van ongeveer een dag en met maxima en minima die overeenkomen met een ruistemperatuur van de antenne van resp. 1700 °K en 700 °K. Voor gegevens omtrent stralingstemperaturen zie: Reference data for radio engineers, uitgegeven door de International Telephone and Telegraph Corporation, New York.

[10] Men bedenke hierbij dat een net van FM-zenders meestal zo wordt ontworpen dat overal in het verzorgingsgebied een aanzienlijk grotere veldsterkte dan 250 μV/m aanwezig is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het verschillende verloop van de beide in fig. 2 weergegeven krommen kan op vrij eenvoudige wijze, althans kwalitatief, worden verklaard. Het spectrum van het signaal van een FM-omroepzender beslaat een frequentieband van ongeveer 180 kHz. Bij modulatie met een spraak- of muzieksignaal is dit gehele frequentiegebied met componenten „gevuld". Dit geldt zowel voor de gewenste als voor de storende zender. Bij mono-ontvangst wordt de storing in hoofdzaak veroorzaakt door componenten van het gewenste en het ongewenste signaal waarvan het frequentieverschil in het hoorbare gebied ligt, dus kleiner dan ongeveer 15 kHz is. Bij het gebruik van een stereo-ontvanger daarentegen wordt ook een storing veroorzaakt door componenten in het spectrum van beide zenders waarvan het frequentieverschil in het gebied van het stereohulpsignaal (23-53 kHz) ligt. Zoals bij de bespreking van de ruis werd vermeld, is door de hogere frequentie deze storing zelfs sterker dan de eerstgenoemde. Hierdoor is de toelaatbare waarde van het storende signaal bij stereo-ontvangst kleiner dan bij mono-ontvangst. Tevens is nu in te zien waardoor het komt dat bij stereo-ontvangst de storing het ergst is wanneer tussen de draaggolven van de gewenste en de storende zender een frequentieverschil van ongeveer 40 kHz bestaat. Immers, in dit geval veroorzaakt de draaggolf van de storende zender, die tijdens zwakke passages in de modulatie groot is, een storend signaal in het frequentiegebied van het stereohulpsignaal.

Aangezien een mono-luisteraar dit laatste signaal niet ontvangt, verandert voor hem de situatie, voor wat betreft storing door andere zenders, vrijwel niet wanneer de ontvangen zender overgaat van mono- op stereo-uitzending.

Storing door reflexies

De storing die ontstaat door ongewenste reflexies van het signaal komt tot uiting in vervorming van de modulatie, die soms zeer hinderlijk kan zijn. Ook hierbij spelen factoren een rol die niet in getallen zijn uit te drukken. Wij volstaan daarom met het vermelden van enkele resultaten van een onderzoek waarbij het ontstaan van reflexies in het laboratorium werd nagebootst. Dit werd zodanig gedaan dat de „reflexie" overeenkwam met wegverschillen van het signaal tot ongeveer 15 km. De sterkte van het gereflecteerde signaal werd steeds zodanig ingesteld dat een juist waarneembare storing ontstond. In *fig. 3* is uitgezet de verhouding van het gereflecteerde signaal tot het direct ontvangen signaal als functie van het wegverschil *d*. De kromme *M* geldt voor mono-ontvangst, de kromme *S* voor stereo-ontvangst. Uit deze figuur blijkt dat in de meeste gevallen bij stereo-ontvangst het gereflecteerde signaal ongeveer 10 dB zwakker moet zijn dan bij mono-ontvangst. Is de vervorming ten gevolge van een bepaalde reflexie bij mono-ontvangst juist waarneembaar, dan kan deze bij overgang op stereo-ontvangst in sommige gevallen zeer hinderlijk zijn.

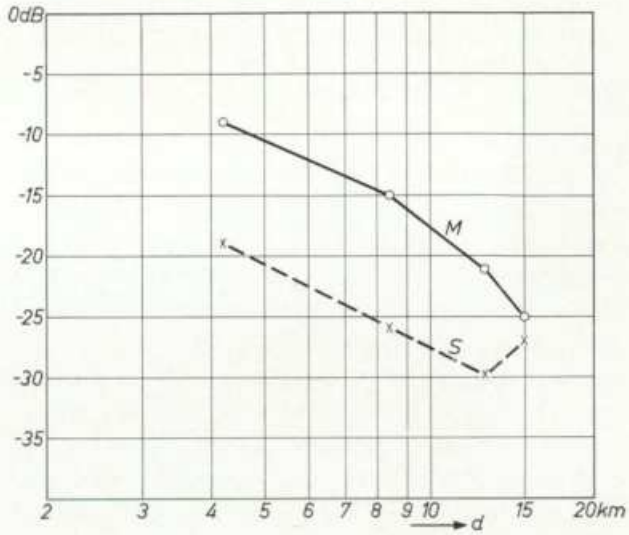

Fig. 3. De verhouding van de sterkte van een gereflecteerd signaal waarbij een juist waarneembare storing optreedt, tot die van het direct ontvangen signaal, als functie van het wegverschil *d* van beide signalen. De kromme *M* geldt voor mono-ontvangst, de kromme *S* voor stereo-ontvangst.

In een streek waar vaak hinder wordt ondervonden van reflexies, nl. het Teutoburgerwoud, zijn proeven gedaan met enkele verschillende systemen voor stereofonische omroep. Ook hierbij bleek steeds dat de gevoeligheid voor deze vorm van storing bij stereo-ontvangst groter is dan bij mono-ontvangst. Men was echter van mening dat van de onderzochte systemen het F.C.C.-systeem het best voldeed.

Er is wel geconstateerd dat het gebruik van een frequentiedetector met een brede frequentiekarakteristiek en een effectief werkende begrenzer de invloed van storingen door reflexies vermindert. Een ander, meer voor de hand liggend, middel is het gebruik van een ontvanger met een gericht antennesysteem.

Samenvatting. Een stereo-ontvanger is gevoeliger voor storingen dan een mono-ontvanger. Dit geldt zowel voor ruis als voor impulsstoringen, storende zenders en de storing die wordt ondervonden van reflexies van het ontvangen signaal. Een gevolg hiervan is dat voor het verkrijgen van een ongestoorde ontvangst van een bepaalde zender bij stereo-ontvangst een grotere veldsterkte nodig is dan bij mono-ontvangst. Van een aantal hieromtrent verrichte onderzoekingen worden resultaten vermeld, die deels langs theoretische en deels langs experimentele weg zijn verkregen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Recente wetenschappelijke publikaties van medewerkers van Philips' laboratoria en fabrieken

Van de meeste dezer publikaties zullen over enige tijd overdrukken kunnen worden verstrekt. Aanvragen richte men tot de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

N. W. H. Addink: Anorganische massenspektrometrische Analyse.
Z. anal. Chemie **206**, 81-88, 1964 (no. 2).

W. Albers en **C. Haas:** Electrical properties of binary transition metal compounds.
Physique des semiconducteurs, Comptes rendus du 7e Congrès international, Parijs 1964, blz. 1261-1268.

G. Arlt en **G. R. Schodder:** Some elastic constants of silicon carbide.
J. Acoust. Soc. Amer. **37**, 384-386, 1965 (no. 2).

G. Blasse: Crystal chemistry and some magnetic properties of mixed metal oxides with spinel structure.
Dissertatie Leiden, april 1964.

G. Blasse: Some magnetic properties of mixed metal oxides with ordered perovskite structure.
Philips Res. Repts. **20**, 327-336, 1965 (no. 3).

A. J. van Bommel: Anomalous transmission in a bent germanium crystal.
Acta crystall. **17**, 956-959, 1964 (no. 8).

A. J. Bosman en **S. van Houten:** Mechanical and dielectric relaxation in transition metal oxides.
Physique des semiconducteurs, Comptes rendus du 7e Congrès international, Parijs 1964, blz. 1203-1209.

A. J. Burggraaf en **J. Cornelissen:** The strengthening of glass by ion-exchange, Part 1. Stress formation by ion diffusion in alkali aluminosilicate glass.
Phys. Chem. Glasses **5**, 123-129, 1964 (no. 5).

K. H. J. Buschow: The lanthanum-aluminium system.
Philips Res. Repts. **20**, 337-348, 1965 (no. 3).

J. Dieleman: Structuur van een zilvercentrum in zinksulfide.
Chem. Weekblad **60**, 632-635, 1964 (no. 45).

J. Dieleman, C. Z. van Doorn, S. H. de Bruin en **J. H. Haanstra:** Reversible light-induced blackening by charge transfer in zinc sulphide single crystals.
Physique des semiconducteurs, Comptes rendus du 7e Congrès international, Parijs 1964, blz. 941-944.

G. Diemer: Vaste-stof-beeldversterkers (Amplificons).
Ned. T. Natuurk. **30**, 228-233, 1964 (no. 6).

C. Z. van Doorn: Het M-centrum in alkalihalogeniden.
Chem. Weekblad **60**, 626-631, 1964 (no. 45).

W. F. Druyvesteyn: Magnetisation curves of superconducting indium lead alloys in a longitudinal and a transverse field.
Physics Letters **13**, 195-196, 1964 (no. 3).

W. Elenbaas: The thermal-conduction loss in the high-pressure mercury-vapour discharge.
Philips Res. Repts. **20**, 213-225, 1965 (no. 3).

C. A. A. J. Greebe: Versterking van akoestische golven in piëzo-elektrische halfgeleiders.
Ned. T. Natuurk. **30**, 254-257, 1964 (no. 7).

C. Grenier en **B. Elschner:** Alternating-current losses in Nb/Zr superconductive coils.
Philips Res. Repts. **20**, 235-252, 1965 (no. 3).

C. Haas: Optisch onderzoek van puntfouten.
Chem. Weekblad **60**, 611-619, 1964 (no. 45).

P. A. H. Hart: Partition effects in transverse electron-beam waves.
Dissertatie Eindhoven, juni 1964.

W. Hondius Boldingh: Grids to reduce scattered X-rays in medical radiography.
Dissertatie Eindhoven, jan. 1964.

F. N. Hooge: Influence of counterdoping on the distribution of Mn over substitutional and interstitial sites in Ge.
Physique des semiconducteurs, Comptes rendus du 7e Congrès international, Parijs 1964, blz. 1185-1188.

F. N. Hooge en **T. Vrijheid-Lammers:** The influence of counterdoping on the distribution of manganese over substitutional and interstitial sites in germanium.
Philips Res. Repts. **20**, 292-305, 1965 (no. 3).

G. H. Jonker: Some aspects of semiconducting barium titanate.
Solid-state electronics **7**, 895-903, 1964 (no. 12).

E. Kooi: Influence of X-ray irradiations on the charge distributions in metal-oxide-silicon structures.
Philips Res. Repts. **20**, 306-314, 1965 (no. 3).

E. Kooi en **M. M. J. Schuurmans:** Temperature-gradient effects during heat treatments of oxidized silicon.
Philips Res. Repts. **20**, 315-319, 1965 (no. 3).

C. Kooy: Material transport in solid-state reactions.
Pure and appl. Chem. **9**, 441-452, 1964 (no. 3).

W. Kuypers en **M. T. Vlaardingerbroek:** Measurement of electron-beam noise.
Philips Res. Repts. **20**, 349-356, 1965 (no. 3).

J. Lemmrich: Der synchronisierte Induktionsmotor.
Elektrotechn. Z. **A 85**, 724-726, 1964 (no. 22).

F. K. Lotgering: On the spontaneous magnetization of $MnFe_2O_4$.
Philips Res. Repts. **20**, 320-326, 1965 (no. 3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R. Memming: On the origin of fast surface states at the germanium-electrolyte interface.
Surface Sci. **2**, 436-443, 1964.

L. Merten: Piezoelektrische Potentialfelder um Stufenversetzungen beliebiger Richtung in piezoelektrischen Kristallen mit elastischer Isotropie.
Z. Naturf. **19a**, 1161-1169, 1964 (no. 10).

E. A. Muijderman: Spiral groove bearings.
Dissertatie Delft, mrt. 1964.
Zie ook Philips techn. T. **25**, 296-316, 1963.

E. Neckenbürger, H. Severin, J. K. Vogel en **G. Winkler:** Ferrite hexagonaler Kristallstruktur mit hoher Grenzfrequenz.
Z. angew. Physik **18**, 65-68, 1964 (no. 2).

A. K. Niessen, J. van Suchtelen, F. A. Staas en **W. F. Druyvesteyn:** Guided motion of vortices and anisotropic resistivity in type-II superconductors.
Philips Res. Repts. **20**, 226-234, 1965 (no. 3).

L. M. Nijland en **J. Schröder:** Lichterzeugung durch Fluor-Reaktionen in Blitzlichtlampen.
Angew. Chemie **76**, 890, 1964 (no. 21).

J. Ober: The large-signal behaviour of a travelling-wave tube with an attenuating central helix section.
Philips Res. Repts. **20**, 357-376, 1965 (no. 3).

H. Polnitzky: Eispunkt-Thermostat.
Z. Instrumentenk. **73**, 11-13, 1965 (no. 1).

O. Reifenschweiler en **K. R. Fröhner:** A new principle of ion extraction from a gas discharge plasma.
Nucl. Instr. Meth. **30**, 298-302, 1964 (no. 2).

J. A. Rietdijk: A positive seal for pistons and axially moving rods.
Engineer **218**, 346-347, 1964 (no. 5666).
Zie ook Philips techn. T. **26**, 345-354, 1964/65 (no. 11/12).

R. J. Ritsma en **F. L. Engel:** Pitch of frequency-modulated signals.
J. Acoust. Soc. Amer. **36**, 1637-1644, 1964 (no. 9).

F. C. de Ronde: Improvement of the wall-current detector.
IEEE Trans. on microwave theory and techniques **MTT-12**, 616, 1964 (no. 6).

A. J. Schrijner en **A. Middelhoek:** The determination of the density of Ta, Nb, and anodically formed Ta_2O_5 and Nb_2O_5.
J. Electrochem. Soc. **111**, 1167-1169, 1964 (no. 10).

E. Schwartz: Reaktanzvierpole, Breitbandanpassung, Stabilität.
Arch. elektr. Übertr. **18**, 673-678, 1964 (no. 11).

E. Schwartz: Die Abhängigkeit der Verstärkung eines selektiven Tunneldioden-Verstärkers von der Aussteuerung.
Arch. elektr. Übertr. **19**, 9-12, 1965 (no. 1).

P. J. Severin: The quenching of light by microwaves incident on a negative glow plasma in a cold cathode glow discharge in helium, neon and argon.
J. quant. Spectrosc. radiat. Transfer **4**, 763-774, 1964 (no. 6).

M. L. Verheijke: Calculated efficiencies of NaI(Tl) scintillation crystals for aqueous cylindrical sources.
Int. J. appl. Rad. Isot. **15**, 559-563, 1964 (no. 9).

M. L. Verheijke: A note on the non-proportional response of NaI(Tl) crystals to gamma rays.
Nucl. Instr. Meth. **30**, 357-358, 1964 (no. 2).

H. J. Vink: Fysische chemie van puntfouten in niet-metallische kristallen.
Chem. Weekblad **60**, 601-611, 1964 (no. 45).

W. L. Wanmaker: Het 5e Internationale Symposium over de reactiviteit van vaste stoffen, 2-8 augustus 1964 te München.
Chem. Weekblad **60**, 705-712, 1964 (no. 52).

W. L. Wanmaker en **M. G. A. Tak:** The retention of copper and bromide in electroluminescent ZnS:Cu,Br phosphors.
Philips Res. Repts. **20**, 278-291, 1965 (no. 3).

J. D. Wasscher, A. M. J. H. Seuter en **C. Haas:** Spin-disorder scattering, anomalous behaviour of the Hall coefficient and magnon-drag in antiferromagnetic MnTe.
Physique des semiconducteurs, Comptes rendus du 7e Congrès international, Parijs 1964, blz. 1269-1275.

C. Weber: The electron beam in a cathode-ray tube.
Proc. IEEE **52**, 996-1001, 1964 (no. 9).

G. A. Wesselink en **A. Bril:** Fluorescent properties of trivalent neodymium in lanthanum and yttrium orthoniobates and tantalates.
Philips Res. Repts. **20**, 269-277, 1965 (no. 3).

J. S. van Wieringen en **J. G. Rensen:** Paramagnetic resonance at high temperatures.
Electronic magnetic resonance and solid dielectrics, Proc. XIIth Coll. Ampère, Bordeaux 1963, blz. 229-231, North-Holland Publ. Co., Amsterdam 1964.

W. J. Witteman en **R. Bleekrode:** Pulsed and continuous molecular far infra-red gas laser.
Physics Letters **13**, 126-127, 1964 (no. 2).

G. Zanmarchi: Absorption of light near the band edge in α-SiC 24*R*.
Philips Res. Repts. **20**, 253-268, 1965 (no. 3).

Jaargang 27, 1965/66, no. 2 blz. 29-56 Verschenen 8 oktober 1965

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!